

Formulir

3100099010918

TUGAS AKHIR
NE 1701

ANALISIS TEKNIS EKONOMIS
PEMASANGAN SISTEM PENDINGIN PADA
KAPAL IKAN TRADISIONAL

RSSP
623.853 5
Bud
a-1
1997



19 Des '97
H
7922

Oleh :

EKO SULIS BUDIANTO
NRP : 4291.100.035

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1997

ANALISIS TEKNIS EKONOMIS PEMASANGAN SISTEM PENDINGIN PADA KAPAL IKAN TRADISIONAL

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk
Meraih Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.

NIP. 131 993 365





FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN - ITS
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

KAMPUS ITS KEPUTIH-SUKOLOLO, SURABAYA 60111
TELP. 599 4754, 599 4251 s/d 55 PES 1102 FAX 599 4754

TUGAS AKHIR NE 1701

Nama : Eko Sulis Budianto
Nrp : 4291.100.035
Dosen Pembimbing : Ir. Alam Baheramsyah, MSc.
Tanggal Tugas Dibenkan : Maret 1997
Tanggal Tugas Diselesaikan : Agustus 1997
Judul Tugas Akhir :

ANALISIS TEKNIS EKONOMIS PEMASANGAN
SISTEM PENDINGIN PADA KAPAL IKAN TRADISIONAL

Dosen Pembimbing,

Ir. Alam Baheramsyah, MSc.
NIP. 131 993 365

Mahasiswa,

Eko Sulis Budianto
NRP 4291.100.035



A. Masroen, M.Eng.
NIP. 131 47 591

Dibuat rangkap 4 (empat) untuk
- Arsip Jurusan TSP
- Dosen Pembimbing ybs.
- Mahasiswa ybs.
- Koordinator T.A. - TSP

LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir (TN 1701)

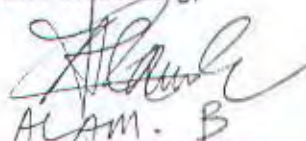
Nama : EKO SUHIS BUDIANTO.....
NRP : 42911000035.....
Judul Tugas Akhir : ANALISIS TEKNIK EKONOMIS PEMASANGAN.....
SISTEM PENDINGIN PADA KAPAL IKAN.....
TRADISIONAL.....
Dosen Pembimbing : 1) IR. ALAM GAHERAMSYAH, M.Sc.....
2)

No.	Tanggal	Kegiatan	Paraf Dosen
1		Draft Bab I. Pendahuluan.	AB.
2	21/05	Draft Bab I + II	AB.
3	18/06/97	Data Teknis. (Bab III)	AB.
4	25/06/97	Draft Bab IV.	AB.
5	4/7/97	Draft Bab V	AB.
6	24/7	_____	AB.
7	28/7	_____	AB.
8	30/7	_____	AB.

Catatan:

1. Mahasiswa siap / tidak siap / dibatalkan*) untuk diujikan.
2. Catatan lain yang dianggap perlu :

Surabaya, 01/08/97
Dosen Pembimbing,


ALAM. B

NIP. 131 993 365

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Allah S.W.T. atas segala rahmat dan berkahNya, Ayah dan Ibu tercinta atas segala dukungan moral dan materialnya, Adik-adikku Andik dan Anis tersayang yang memberi semangat kepadaku, Bapak Alam Baheramsyah atas bimbingan dan dorongannya, Siswanto atas pinjaman motor dan tasnya, My friend Kurniadi yang dengan sabar mau menemaniku, My best friend Agus Way yang dengan rela meminjamkan printernya, My Computer yang ikut andil dalam proses penulisan, Suprayitno dan Slamet atas pinjaman dasinya saat presentasi, Mbak Eva atas pinjaman kasetnya untuk menemani aku menulis, Basuki yang memberi bahan untuk tulisanku, Pak Sutrisno dari PT. PAL Indonesia untuk data kapal yang diteliti, Haryanto atas tambahan bahan tulisannya, Yayan untuk printernya saat presentasi dua, Iyan yang stavoltnya aku pakai, seluruh dosen penguji saat presentasi satu-dua-tiga atas saran-kritik-arahannya, Ibel yang memberi saran-saran dan dukungan, teman-teman satu periode ujian TA (Kurniadi, Haryanto, Rahman, Haryono, Sugeng, Ajong, Drajad, Andri, Khusaini, Nova, Ridwan, Suhardi, Guntur, Joko) yang saling memberi semangat dan support, Hermawan yang mengantarkan aku fotokopi, rekan-rekan di APMI yang baik, serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam proses penulisan ini.

"Mulai" adalah kata yang penuh kekuatan. Cara terbaik untuk menyelesaikan sesuatu adalah, "mulai". Tapi juga mengherankan, pekerjaan apa yang dapat kita selesaikan kalau kita hanya memulainya. *Clifford Warren*

KATA PENGANTAR

Berkat rahmat Allah S.W.T. maka penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir (NE 1701), yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Atas segala kekurangan yang ada dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penyusun dengan senang hati menerima kritikan yang bersifat membangun sehingga dapat menyempurnakannya. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penyusun ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Bapak Ir. Alam Baheramsyah, MSc. selaku dosen pembimbing
- Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng. selaku Kajur Teknik Sistem Perkapalan
- Bapak Ir. Suryo W.A., MSc. selaku Sekjur Teknik Sistem Perkapalan
- Semua pihak yang telah membantu penulisan ini.

Semoga Allah S.W.T. membalas kebaikan Anda dengan pahala, rahmat kebahagiaan di dunia dan akhirat.

Surabaya, Agustus 1997

Penyusun,

Eko Sulis Budianto

ABSTRAK

Sistem pendingin pada kapal ikan tradisional kebanyakan menggunakan es sebagai media pendinginnya. Hal ini mengakibatkan jumlah muatan (ikan yang berhasil ditangkap) tidak bisa maksimal karena sebagian ruang muat harus diisi dengan es. Dengan pemakaian sistem pendingin mekanis diharapkan diperoleh keuntungan penambahan jumlah muatan dengan digantikannya es dengan sistem pendingin yang lebih baik. Tinjauan dari segi teknis maupun ekonomis kiranya perlu dipertimbangkan untuk menganalisis keuntungan-keuntungan yang diperoleh bila sistem yang baru menggantikan sistem yang lama. Penggunaan metode Average Annual Benefit sebagai analisis ekonomis dimaksudkan untuk mempermudah menilai sistem yang ada untuk memperoleh gambaran secara utuh nilai ekonomis yang dimiliki oleh masing-masing sistem.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Metodologi	4
 BAB II DASAR TEORI	 6
2.1. Tinjauan Tentang Kualitas Ikan Tangkapan	6
2.2. Pemilihan Sistem Pendingin Yang Digunakan	8
2.2.1. Sistem Refrigerasi Kompresi Vaporasi Dengan Kompresor Bolak-Balik	8
2.2.2. Siklus Refrigerasi Kompresi Vaporasi Dengan Kompresor Rotari	10
2.2.3. Siklus Refrigerasi Kompresi Vaporasi Dengan Kompresor Sentrifugal	13
2.2.4. Sistem Refrigerasi Dengan Ejektor	15
2.2.5. Sistem Refrigerasi Siklus Udara	18
2.2.6. Siklus Absorpsi Refrigerasi	20
2.3. Perpindahan Panas	23
2.4. Beban Pendinginan	24
2.4.1. Transmisi Panas	26
2.4.2. Beban Panas Produk	29
2.4.3. Beban Panas Tambahan	30
 BAB III DATA TEKNIS	 31
 BAB IV PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN	 33
4.1. Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas	33
4.2. Perhitungan Beban Pendingin	54
4.2.1. Beban Produk	54
4.2.2. Perhitungan Beban Infiltrasi	56

4.2.3. Perhitungan Beban Transmisi di Ruang Fish Hold	57
4.2.4. Beban Internal pada Ruang Fish Hold	61
4.2.5. Beban Kontainer pada Konstruksi Dinding Isolasi	62
4.2.6. Kesimpulan Hasil Akhir Beban Pendinginan	63
4.3. Analisis Perhitungan Kompresor	64
4.3.1. Penentuan Jenis Refrigeran	64
4.3.2. Karakteristik Kompresor	66
4.3.3. Daur/Siklus Refrigeran	68
4.3.4. Analisis Kondisi Refrigeran Pada Satu Siklus Pendinginan	69
4.4. Analisis Perhitungan Kondensor	74
4.4.1. Karakteristik Kondensor	74
4.4.2. Jumlah Air Pendingin	74
4.4.3. Menentukan Dimensi Peralatan	75
4.5. Analisis Perhitungan Evaporator	79
4.5.1. Karakteristik Evaporator	79
4.5.2. Analisis Perhitungan Luas Perpindahan Panas pada Evaporator	80
 BAB V ASPEK EKONOMIS DALAM PERENCANAAN KAPAL	85
5.1. Metode Average Annual Benefit (AAB)	86
5.1.1. Nilai Waktu Dari Uang	86
5.1.2. Nilai Saat Ini	87
5.1.3. Peranan Suku Bunga	87
5.1.4. Umur Ekonomis (Life Time)	88
5.2. Perhitungan Berat Muatan	92
5.3. Perhitungan Waktu Operasi Kapal	96
5.4. Biaya Investasi	96
5.5. Penghasilan Operasi	97
5.5.1. Jumlah Round Trip per Tahun	97
5.5.2. Kapasitas Muat per Tahun	98
5.5.3. Penghasilan Operasi per Tahun	98
5.5.4. Biaya Operasi	99
5.5.5. Rangkuman	111
 BAB VI KESIMPULAN	123
 DAFTAR PUSTAKA	124
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus refrigerasi pada sistem kompresi vaporasi dengan kompresor bolak-balik

Gambar 2.2 Siklus refrigerasi pada sistem refrigerasi kompresi vaporasi dengan kompresor rotari

Gambar 2.3 Siklus refrigerasi pada sistem kompresi vaporasi dengan kompresor sentrifugal

Gambar 2.4 Siklus refrigerasi pada sistem refrigerasi dengan ejektor

Gambar 2.5 Siklus refrigerasi pada sistem refrigerasi siklus udara

Gambar 2.6 Siklus absorpsi refrigerasi

Gambar 4.1. Penampang struktur alas

Gambar 4.2. Penampang struktur atap

Gambar 4.3. Penampang struktur dinding di atas Lwl

Gambar 4.4. Penampang struktur dinding di bawah Lwl

Gambar 4.5. Penampang struktur tutup palkah

Gambar 4.6. Penampang struktur dinding isolasi belakang

Gambar 4.7. Penampang struktur dinding isolasi depan

Gambar 4.8. Skema sistem refrigerasi kompresi vaporasi

Gambar 4.9. Siklus refrigerasi pada sistem refrigerasi kompresi vaporasi

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Nilai kesegaran ikan berdasarkan lama waktu penyimpanan
- Tabel 2.2 Nilai Torry untuk kualitas ikan berdasarkan penampakan visualnya
- Tabel 4.1 Nama bagian struktur alas
- Tabel 4.2 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk alas fish hold
- Tabel 4.3 Nama bagian struktur atap
- Tabel 4.4 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk atap
- Tabel 4.5 Nama bagian struktur dinding di atas Lwl
- Tabel 4.6 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding di atas Lwl
- Tabel 4.7 Nama bagian struktur dinding di bawah Lwl
- Tabel 4.8 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding di bawah Lwl
- Tabel 4.9 Nama bagian struktur tutup palkah
- Tabel 4.10 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk tutup palkah
- Tabel 4.11 Nama bagian struktur dinding isolasi belakang
- Tabel 4.12 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding isolasi belakang
- Tabel 4.13 Nama bagian struktur dinding isolasi depan
- Tabel 4.14 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding isolasi depan
- Tabel 4.15 Beban pendinginan pada fish hold
- Tabel 5.1 Perhitungan Average Annual Benefit



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perairan Indonesia merupakan salah satu penghasil ikan yang sangat besar, terutama perairan lautnya. Hal ini menarik untuk diamati mengingat sampai saat ini potensi yang dimiliki belum tergali sepenuhnya. Sering kita mendengar, kemampuan nelayan kita untuk menangkap ikan di perairan Nusantara belum maksimal. Selain karena armada kapal ikan yang kita miliki masih kecil juga karena belum banyak yang menerapkan teknologi penangkapan ikan yang lebih modern.

Salah satu kendala bagi nelayan untuk menjaga kualitas hasil tangkapannya adalah tidak seluruh nelayan menggunakan metode penangkapan dan penanganan hasil tangkapan dengan teknologi modern. Saat ini, kebanyakan nelayan kita masih mengandalkan es batu sebagai media pendingin ikan. Cara ini tidak hanya diterapkan pada kapal ikan kecil saja tetapi juga pada kapal-kapal ikan ukuran besar, hingga mencapai ukuran 100 GT.

Alasan pemakaian es batu sebagai pendingin adalah kesederhanaan penanganannya, akan tetapi itu tidak bisa menjamin sepenuhnya terhadap mutu kesegaran ikan hasil tangkapan. Lagipula cara ini menjadi kurang praktis untuk kapal-kapal ukuran sedang hingga besar. Keharusan membawa es saat berangkat mencari

ikan, nantinya es ini dipakai untuk mendinginkan ikan yang ditangkap, membuat kapal dibebani muatan dalam jumlah yang cukup besar. Hal ini disebabkan jumlah es yang dipakai untuk mendinginkan ikan sebesar volume ikan yang hendak ditangkap (perbandingan es dengan ikan adalah 1 : 1). Perbandingan ini bisa menjadi lebih besar bila penangkapan dilakukan saat cuaca sangat terik dan di perairan tropis. (Joe M. Regenstein & Carrie E. Regenstein, 1991).

1.2. Perumusan Masalah

Kapal ikan tradisional yang dimaksudkan di sini adalah kapal ikan yang belum dilengkapi dengan mesin pendingin. Seperti yang telah diuraikan di muka, kapal-kapal ini memakai es sebagai media pendingin ikan hasil tangkapan. Kapalnya sendiri menggunakan motor diesel sebagai penggerak utama dan dilengkapi dengan generator untuk memasok kebutuhan listrik di kapal. Badan kapal terbuat dari kayu, dilengkapi dengan sekat-sekat sebagai ruang muat untuk ikan, umpan, dan kamar mesin.

Pemilihan kapal ikan dari kayu mengingat sebagian besar kapal nelayan yang beroperasi saat ini terbuat dari bahan ini. Sedangkan kapal baja, biasanya dengan ukuran yang lebih besar, sudah dilengkapi dengan sistem pendingin mekanis.

Ketergantungan terhadap es sebagai media pendingin dapat secara berangsur-angsur ditinggalkan menuju penggunaan teknologi yang lebih modern. Karena seperti diketahui, pendinginan memakai es memiliki beberapa kelemahan dibandingkan sistem pendinginan mekanis, di antaranya: temperaturnya terbatas hingga 32^o F saja,

yang mengakibatkan temperatur ruang penyimpanan berkisar 40° - 50° F. (Norman R. Sparks, 1959). Temperatur ini tidak cukup rendah untuk menjaga kualitas bahan makanan yang disimpan.

1.3. Batasan Masalah

Bagaimanapun, pembahasan terhadap penggunaan sistem pendingin ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Kapal ikan yang dimodifikasi berupa kapal ikan tuna segar. Seperti dijelaskan sebelumnya, kapal terbuat dari kayu.
2. Kondisi kapal yang dimodifikasi dalam keadaan baik/laik laut.
3. Tidak membahas perubahan konstruksi lambung kapal, sebagai akibat pemasangan sistem pendingin yang baru.
4. Analisis ekonomis dibatasi perhitungan investasi awal, biaya tahunan.

1.4. Tujuan

Hal-hal yang sekiranya patut bagi penulis untuk melakukan penulisan ini:

- Memberikan alternatif lain dari proses pengawetan ikan selain cara-cara tradisional yang dilakukan saat penangkapan ikan di laut. Dengan demikian, diharapkan mutu ikan hasil tangkapan lebih terjamin melalui perbaikan kondisi pengawetan yang lebih baik.

- Menganalisis secara lebih seksama dari segi teknis maupun ekonomis apakah dengan adanya perubahan dari kapal ikan yang belum menggunakan mesin pendingin menjadi kapal ikan dengan mesin pendingin menghasilkan keuntungan, baik dari biaya operasional, mutu hasil tangkapan maupun dari segi penerapan teknologinya.

1.5. Metodologi

Pemasangan sistem pendingin kapal ikan memerlukan langkah-langkah perencanaan yang seksama agar nantinya bisa diperoleh hasil yang diinginkan. Secara singkat hal-hal tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pertama-tama yang harus kita lakukan adalah mendapatkan data kapal ikan tradisional yang hendak dimodifikasi. Mengetahui dimensi ruang-ruang muat yang digunakan untuk menyimpan ikan yang telah ditangkap.
2. Meninjau kualitas ikan yang ditangkap apakah sudah sesuai dengan kualitas yang diinginkan karena hal ini nantinya akan mempengaruhi harga jual ikan tersebut di pasaran.
3. Melakukan perhitungan beban pendingin yang dibutuhkan.
4. Melakukan pemilihan sistem pendingin yang sesuai untuk diterapkan pada kapal ikan tersebut. Hal ini harus dilakukan mengingat tiap-tiap sistem pendingin memiliki karakteristik dan keunggulan-keunggulan tertentu disamping kelemahan-

kelemahannya. Sehingga nantinya bisa diperoleh sistem mana yang paling sesuai untuk kapal ikan ini.

5. Melakukan matching agar diperoleh kesesuaian antara sistem yang diterapkan dengan beban pendinginan yang dibutuhkan oleh kapal.
6. Melakukan perhitungan biaya ekonomis meliputi: biaya investasi awal, biaya operasional, dan waktu balik modal.
7. Analisis ekonomis dengan membandingkan harga jual ikan baik dari kapal ikan dengan pendingin es maupun ikan dengan pendingin mekanis.



BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Tentang Kualitas Ikan Tangkapan

Kualitas ikan hasil tangkapan sedikit banyak akan mempengaruhi nilai jual ikan tersebut. Dimana kualitas yang lebih baik tentu saja akan memberikan nilai jual yang lebih tinggi dibandingkan ikan dengan kualitas yang buruk. Istilah kualitas pada dasarnya merupakan refleksi dari persepsi konsumen. Karena konsumenlah yang menentukan baik buruknya suatu barang yang dibelinya. Untuk mengetahui seberapa besar kualitas ikan yang ditangkap diterapkan banyak metode. Di antaranya yang akan dikemukakan di sini secara singkat adalah penggunaan Sistem skor kesegaran (The Torry Freshness Scale) dari Torry Research Station, Aberdeen, Skotlandia.

The Torry Freshness Scale terdiri atas panel-panel yang digunakan untuk mengevaluasi mutu ikan secara umum. Salah satunya dipakai untuk menentukan mutu ikan setelah ikan tersebut mati yang didasarkan pada jumlah kandungan zat trimethylamine (TMA) yang terdapat di dalam ikan. Zat ini terbentuk sebagai akibat penguraian daging ikan oleh mikroba setelah kematiannya. Semakin lama waktu yang dialami ikan setelah mati maka kandungan zat ini semakin banyak mengakibatkan ikan semakin busuk dan mutu menurun. Agar lebih jelas lihat tabel berikut:

Tabel 2.1 Nilai kesegaran ikan berdasarkan lama waktu penyimpanan

Hari	Nilai kesegaran	Torrymeter	TMA(μ moles/100 g)
2	9	14	7
5	8	13	22
8	7	11	137
11	6	10	360
14	5	8	792
17	4	6	1.730
20	3	4	3.240

Beberapa indikator lain yang bisa dipakai untuk mengetahui tingkat kesegaran ikan adalah dengan melihat secara langsung kondisi ikan tersebut. Ini bisa dilakukan dengan mengamati keadaan mata, kulit, dan insangnya. Secara visual bisa ditentukan apakah ikan yang diamati masih dalam kondisi baik atau tidak. Selain itu bau juga ikut menentukan mutu ikan. Berikut disajikan indikator-indikator yang mungkin dapat dijadikan pegangan untuk mengevaluasi mutu ikan. (Joe M. Regenstein & Carrie E. Regenstein, 1991).

Tabel 2.2 Nilai Torry untuk kualitas ikan berdasarkan penampakan visualnya

Hari	Nilai	Mata	Kulit	Penampakan insang	Bau insang
0 - 2	10	Cembung, terang, bersih	Bersih, warna mengkilat	Terang, bersih, merah tua hingga merah muda	Lemah, seperti rumput yang baru dipotong
2 - 4	9	Cembung hingga datar, sedikit abu-abu, bersih	Bersih, mengkilat	Merah terang hingga merah muda, pada beberapa bagian warnanya mulai pudar	Lebih keras baunya
4 - 6	8	Datar, sedikit abu-abu, bersih	Tidak mengkilat, sedikit sisik yang hilang		Berminyak, beraroma
6 - 8	7	Sedikit tenggelam; abu-abu, sedikit gelap	Kehilangan sejumlah sisik, sedikit berpasir	Merah muda hingga coklat dengan warna pudar	Seperti karton, berminyak, baunya tajam
8 - 10	6	Tenggelam; abu-abu, sedikit gelap	Sisik hilang, warna suram	Merah muda hingga coklat, warna pudar	Jelai, seperti bir, rumput busuk, sedikit minyak tengik
10 - 13	5			Merah muda hingga coklat, warna pudar, lengket	Seperti telur direbus, susu yang masam, seperti bau kulit
13 - 15	4	Tenggelam, abu-abu, gelap	Berpasir, terdapat noda coklat		Seperti sayur/buah yang membusuk, minyak tengik

2.2. Pemilihan Sistem Pendingin Yang Digunakan

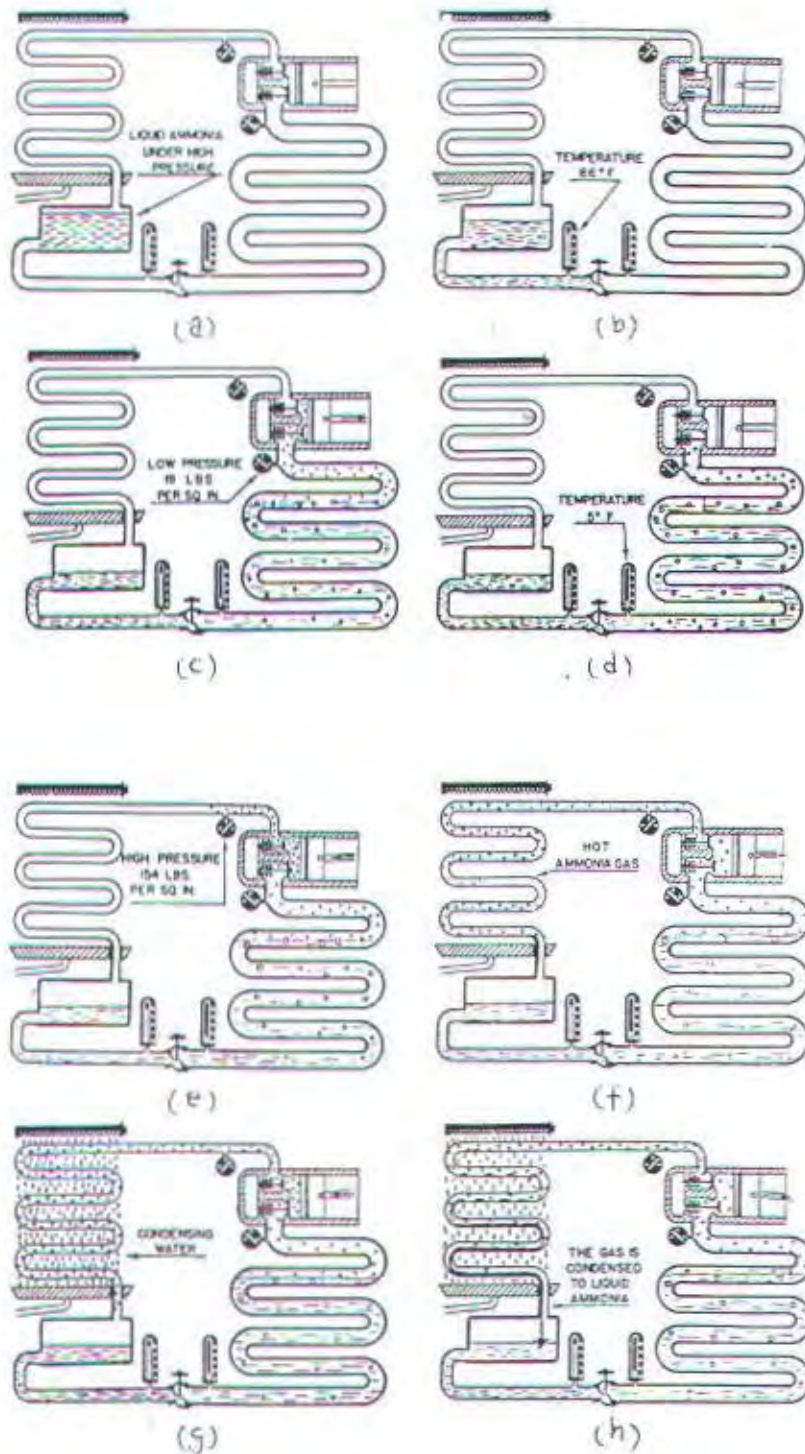
Pemilihan sistem pendingin yang dipakai di kapal memerlukan beberapa pertimbangan menyangkut beberapa faktor di antaranya: sebuah sistem yang sesederhana mungkin mengingat dimensi kapal yang tidak terlalu besar sehingga penggunaan sistem yang sederhana memungkinkan prosedur pengoperasian dan perawatan yang tidak rumit. Selain itu biaya yang dikeluarkan untuk operasional sistem tidak begitu besar.

Berikut ini disajikan gambaran sistem-sistem yang mungkin bisa dipakai untuk memenuhi kriteria di atas.

2.2.1. Sistem Refrigerasi Kompresi Vaporasi Dengan Kompresor Bolak-Balik

Sistem ini terdiri atas sebuah evaporator untuk menampung refrigeran cair, sebuah kompresor untuk memompa uap refrigeran dari tekanan rendah ke sisi tekanan tinggi sistem dan untuk mengontrol tekanan di dalam evaporator, sebuah kondensor untuk memindahkan panas dari gas refrigeran sehingga dapat diubah ke bentuk cair. Ditambahkan pula receiver untuk menyimpan refrigeran cair di bawah tekanan tinggi dan sebuah katup ekspansi untuk mengendalikan laju aliran refrigeran cair antara sisi tekanan tinggi dengan sisi tekanan rendah dari sistem (Jordan and Priester, 1956).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.1 Siklus refrigerasi pada sistem kompresi vaporasi dengan kompresor bolak-balik

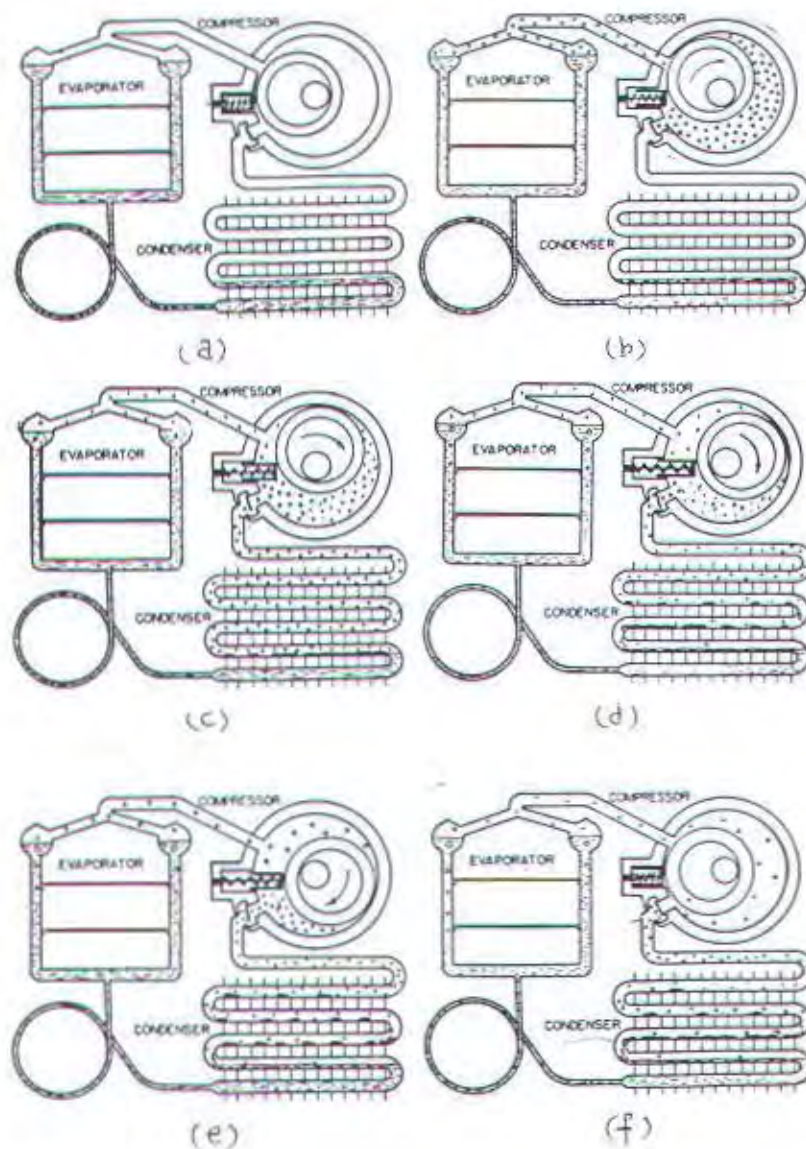
Pada gambar 2.1.a amoniak cair berada pada tekanan tinggi (154 psi gage) terdapat di dalam receiver. Tekanan atmosfer pada saat itu adalah 14,7 psia. Pada gambar 2.1.b cairan melewati katup ekspansi dengan suhu 86°F . Selanjutnya pada gambar 2.1.c terlihat cairan refrigeran melalui katup ekspansi ke dalam evaporator. Di sini terjadi tekanan rendah 19 psi gage. Katup ekspansi ini pengendaliannya bisa menggunakan tangan (manual) atau merupakan peralatan otomatis.

Selanjutnya pada gambar 2.1.d amoniak cair menguap pada suhu 5°F sesuai dengan tekanan evaporator. Selanjutnya, uap amoniak yang terjadi mengalir dari sisi tekanan rendah mengalir ke dalam kompresor dan dipindahkan ke bagian yang bertekanan tinggi (gambar 2.1.e). Pada gambar 2.1.f uap tekanan tinggi ini dialirkan ke dalam kondensor dan karena adanya aliran air di atas koil kondensor yang menyerap panas dari uap refrigeran mengakibatkan terjadinya pengembunan (gambar 2.1.g). Refrigeran yang telah berubah bentuk menjadi cair kembali (gambar 2.1.h) mengalir dari kondensor kembali ke receiver. Demikian seluruh proses terjadi terus-menerus dan berulang.

2.2.2. Siklus Refrigerasi Kompresi Vaporasi Dengan Kompresor Rotari

Siklus refrigerasi kompresi vaporasi memakai kompresor rotari memiliki kelebihan-kelebihan dibandingkan penggunaan kompresor bolak-balik. Dengan tidak diperlukannya kompresor bolak-balik sistem ini memungkinkan ditiadakannya

penggunaan peralatan ekspansi seperti orifice yang dikontrol baik dengan tangan maupun secara otomatis. Kondenser memungkinkan didinginkan oleh udara sebaik pendinginan dengan air dan evaporator dapat diisi penuh dengan refrigeran cair (Jordan and Priester, 1956).



Gambar 2.2 Siklus refrigerasi pada sistem refrigerasi kompresi vaporasi dengan kompresor rotari

Pada gambar 2.2.a terlihat refrigeran cair terdapat di dalam evaporator, tabung kapiler, dan kondensor. Sebagian besar refrigeran berbentuk cair karena tekanan di dalam evaporator masih lebih rendah dibandingkan kondensor. Ruangan lainnya terisi refrigeran dalam bentuk uap. Pada gambar 2.2.b kompresor rotari mulai berputar, panas masuk ke dalam evaporator melepaskan sebagian uap refrigeran tekanan rendah. Kompresor rotari berupa rotor yang bergerak eksentrik di dalam wadahnya dan dilengkapi bilah segel yang dioperasikan oleh pegas, memisahkan saluran masuk dengan saluran keluar.

Gambar 2.2.c ruang hisap bertambah isinya sedangkan ruang buang berkurang. Terjadi kompresi uap refrigeran sehingga tekanannya sedikit lebih tinggi daripada tekanan pengembunan. Katup buang terbuka, memungkinkan terjadinya aliran uap ke kondensor. Gerakan kompresor selanjutnya menambah ruang hisap, menyebabkan penambahan uap dari evaporator, ruang buang berkurang dan aliran uap menuju ke kondensor (gambar 2.2.d).

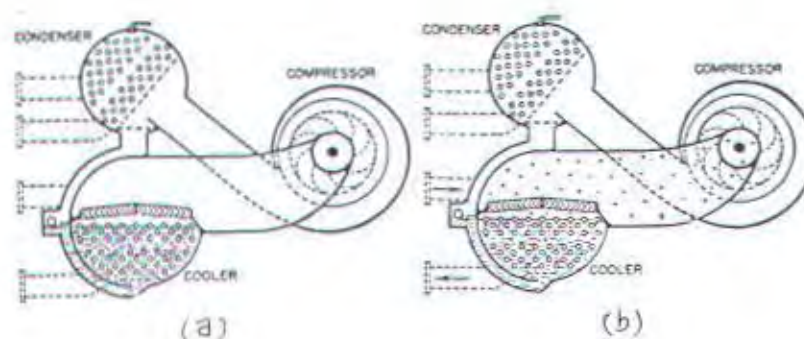
Rotor terus berputar (gambar 2.2.e), sementara itu refrigeran yang masuk ke dalam kondensor mulai mengembun. Kondensor didinginkan oleh udara sehingga dilengkapi dengan sirip-sirip pada bagian luarnya. Pada gambar 2.2.f terlihat bahwa seluruh refrigeran telah keluar dari kompresor. Aliran refrigeran cair dari kondensor ke evaporator dimulai dari tabung kapiler. Pembatasan aliran akibat ukuran lubang tabung yang kecil telah cukup untuk menaikkan tekanan di dalam kondensor ke titik dimana pengembunan dapat terjadi dengan udara sebagai media pendinginnya. Di sini

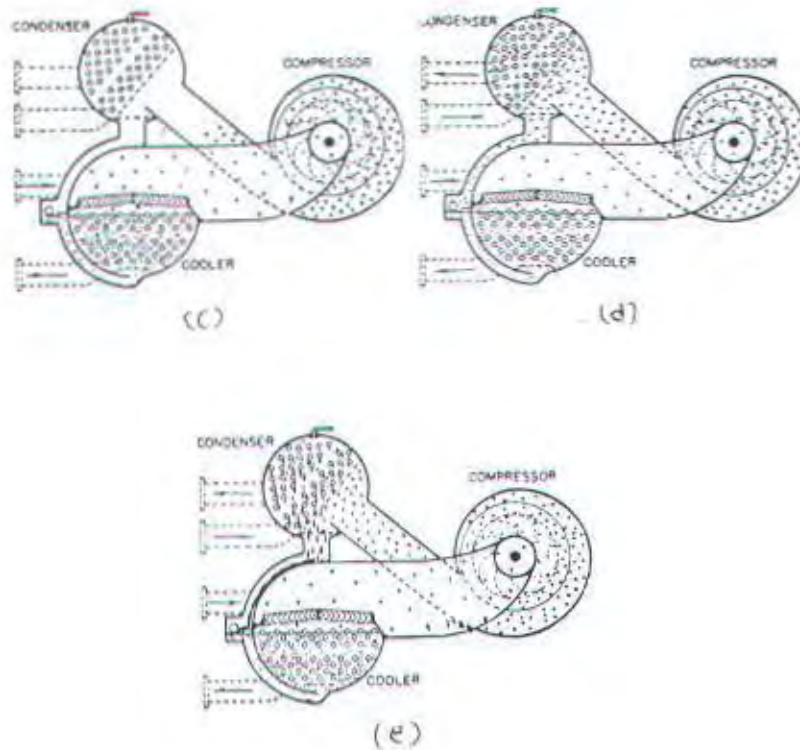
sebanyak 20 sampai 30 persen refrigeran telah siap dalam bentuk uap, tergantung seberapa besar penurunan tekanan dari kondensor ke evaporator.

2.2.3. Siklus Refrigerasi Kompresi Vaporasi Dengan Kompresor Sentrifugal

Siklus refrigerasi kompresi vaporasi dapat juga dirancang dengan menggunakan kompresi sentrifugal uap refrigeran. Dengan semacam kompresi sistem dicapai melalui gaya sentrifugal dalam aliran yang mirip digunakan dalam pergerakan udara oleh blower sentrifugal. Karena kompresor sentrifugal bukan dari jenis positif maka perbedaan tekanan yang terjadi lebih kecil dibandingkan pemakaian kompresor bolak-balik. Sehingga, rasio kompresi sistem ini rendah.

Sistem terdiri dari kondensor, evaporator, dan kompresor yang semuanya dipasang pada alas tunggal. Refrigeran sekunder seperti air garam (brine) atau air saja dipakai untuk mengangkut panas titik muat ke evaporator (Jordan and Priester, 1956).





Gambar 2.3 Siklus refrigerasi pada sistem kompresi vaporasi dengan kompresor sentrifugal

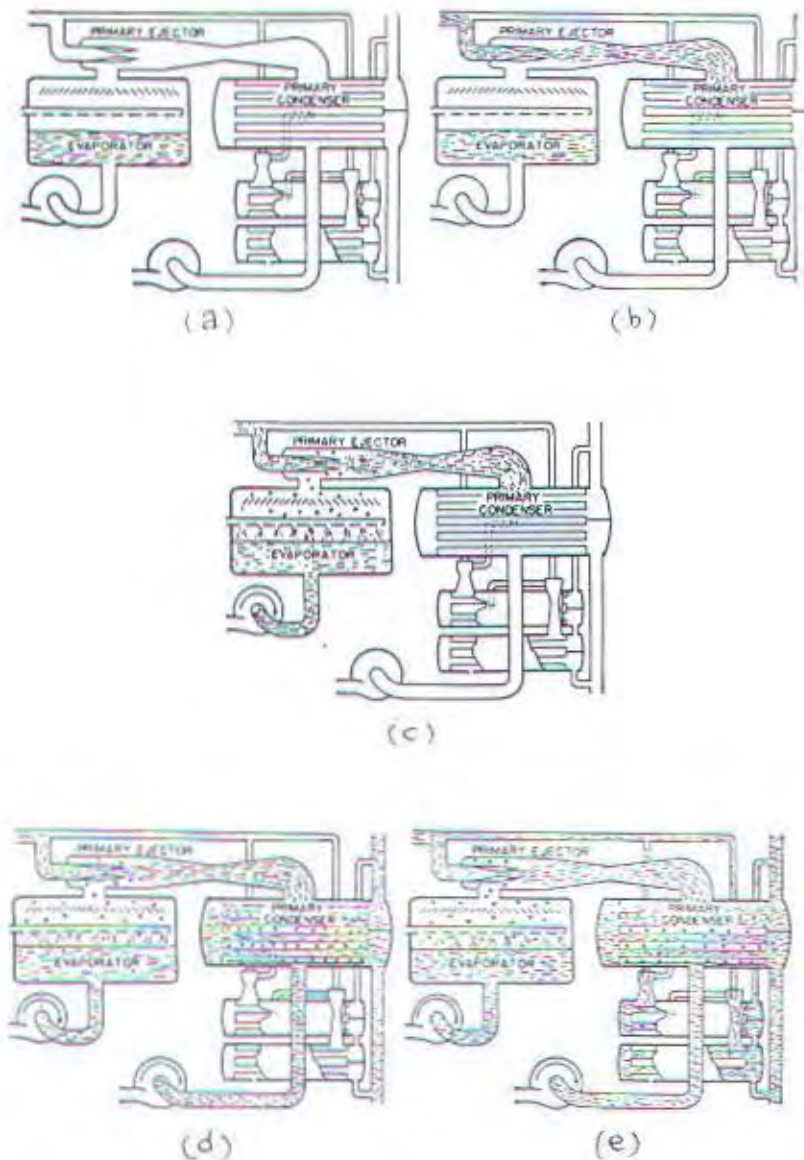
Pada gambar 2.3.a cairan refrigeran berada di cooler atau evaporator. Cairan ini terdapat di sekeliling tabung cooler, melalui dimana brine disirkulasikan. Selanjutnya pada gambar 2.3.b cooler dimuati melalui sirkulasi brine dari titik muat ke tabung cooler. Panas diserap dan pendidihan cairan refrigeran terjadi. Kompresor dijalankan sehingga memindahkan uap refrigeran dari cooler dan pada saat yang sama menyebabkan tekanan dan temperatur evaporator pada keadaan yang diinginkan. Uap refrigeran memasuki hub kompresor.

Pada gambar 2.3.c uap refrigeran mengalir melalui kompresor lalu memasuki jalan menuju kondensor. Kompresi terjadi melalui pemberian gaya sentrifugal pada uap dan penambahan kecepatan yang diberikan ke massa yang terbawa putaran impeler kompresor. Kemudian, uap refrigeran memasuki kondensor dan mengelilingi tabung kondensor, melalui dimana air dingin bersirkulasi (gambar 2.3.d). Pengembunan refrigeran terjadi di kondensor, selanjutnya cairan mengalir ke cooler. Permukaan refrigeran yang konstan diatur oleh semacam katup seperti pelampung (gambar 2.3.e).

2.2.4. Sistem Refrigerasi Dengan Ejektor

Variasi lain dari siklus refrigerasi kompresi vaporasi dicapai dengan memakai ejektor untuk memindahkan uap refrigeran dari ruang evaporator dan untuk mengendalikan tekanan evaporator. Pada sistem ini cairan yang dipakai untuk menjalankan ejektor bercampur dengan uap refrigeran yang dikeluarkan dari evaporator, sehingga desain akan lebih sederhana jika jenis fluida yang dipakai untuk menjalankan ejektor sama dengan fluida refrigeran. Seperti sistem yang demikian tersebut, secara inheren diadaptasikan ke penggunaan air sebagai refrigeran dan uap air sebagai fluida ejektor, dan ini diberi istilah sistem refrigerasi uap jet (Jordan and Priester, 1956).

Peralatan yang diperlukan adalah evaporator, ejektor uap utama beserta satu atau dua ejektor sekunder, kondenser utama dan satu atau dua kondenser sekunder, dan dua pompa cairan. Sistem operasinya dapat diterangkan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Siklus refrigerasi pada sistem refrigerasi dengan ejektor

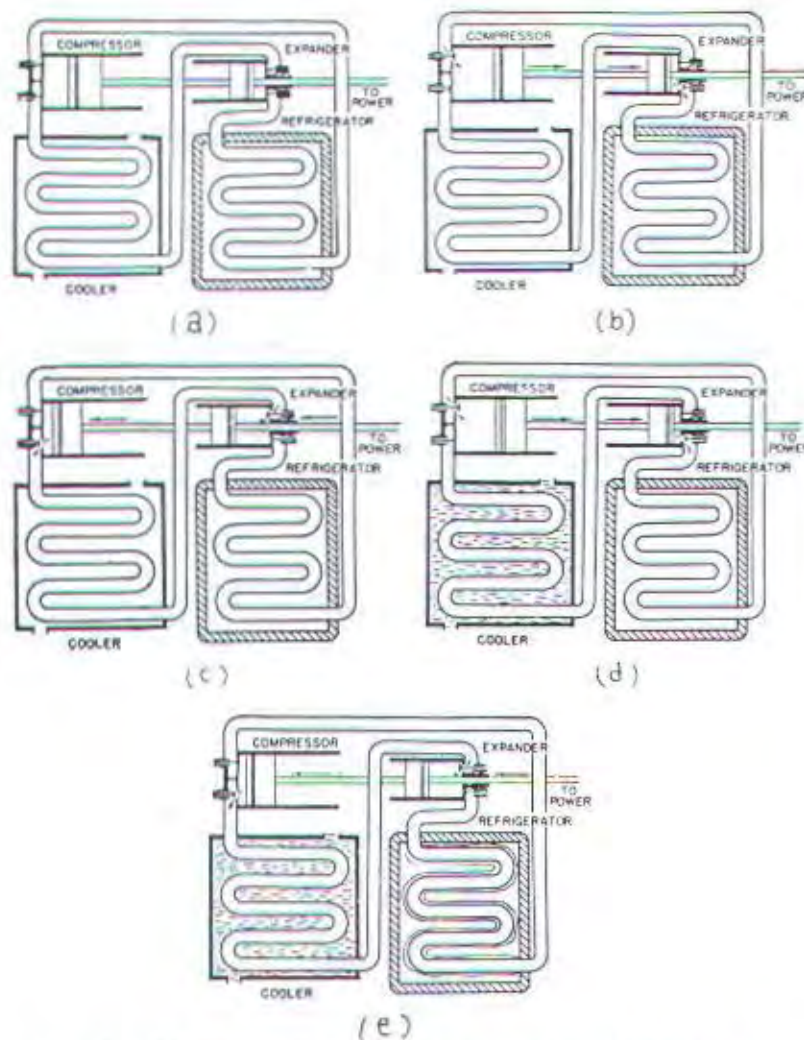
Pada gambar 2.4.a terlihat air tersimpan dalam evaporator tapi belum bersirkulasi. Gambar 2.4.b uap dengan kecepatan tinggi melintas melalui nosel utama dan venturi ejektor menuju kondensor utama. Uap di dalam evaporator terpacu oleh jet uap utama sehingga kevakuman terjadi di bagian atas ruang evaporator. Pada gambar 2.4.c terlihat bahwa air bertindak sebagai refrigeran primer (utama) maupun sekunder disirkulasikan melalui ruang percik (flash chamber). Air disemprotkan ke dalam flash chamber agar supaya menyediakan bukaan daerah penyerapan panas yang lebih luas untuk dicapai penguapan yang cepat. Refrigerasi dicapai dengan memercikkan (flashing) bagian air yang bersirkulasi ke uap air dengan panas laten yang diserap dari massa air yang tersisa. Air meninggalkan evaporator dengan suhu yang lebih rendah dibandingkan saat masuk sehingga memungkinkan dipakai sebagai refrigerasi.

Pada gambar 2.4.d uap air memasuki kondensor utama. Air pendingin kondensor juga mengalir sehingga terjadilah pengembunan. Karena air berada pada tekanan rendah maka ia dikembalikan oleh sirkulasi paksa ke boiler pemasok uap air. Gambar 2.4.e memperlihatkan kondensor sekunder dan ejektor sekunder mengambil perannya. Ini memungkinkan gas-gas dan uap-uap nonkondensasi dipindahkan dari kondensor primer dan dengan dua tahap yang sukses dinaikkan hingga mencapai tekanan atmosfer. Gas-gas tak terkondensasi dilepas ke atmosfer dari kondensor.

2.2.5. Sistem Refrigerasi Siklus Udara

Sistem refrigerasi siklus udara boleh dibilang unik karena merupakan satu-satunya proses pendinginan yang pernah dipakai secara luas di bidang komersial dimana refrigeran berupa gas di seluruh siklusnya. Karena udara relatif bebas biaya dan aman, ia dipakai sebagai refrigeran. Sistem siklus udara bisa berupa sistem terbuka atau tertutup. Pada sistem tertutup, refrigeran udara dibatasi di dalam pipa dan bagian-bagian komponen sistem sepanjang waktu. Sedangkan pada sistem terbuka, udara diekspansikan langsung ke dalam ruangan yang didinginkan, bersirkulasi melalui cooler lalu kembali ke kompresor untuk memulai siklus yang baru.

Sistem refrigerasi siklus udara memerlukan persyaratan daya yang tinggi sehingga untuk penerapan saat ini digunakan di pesawat terbang karena beratnya yang rendah dan volume peralatan dan kemampuannya sesuai dengan sistem supercharging udara kabin yang tersedia. Sistem ini membutuhkan sebuah kompresor, sebuah cooler, sebuah ekspander, dan sebuah refrigerator. Karena refrigeran berupa gas sepanjang waktu, istilah kondenser dan evaporator bukanlah arti yang sebenarnya dan diganti dengan cooler dan refrigerator (Jordan and Priester, 1956).



Gambar 2.5 Siklus refrigerasi pada sistem refrigersi siklus udara

Pada gambar 2.5.a diperlihatkan sebuah sistem siklus udara tertutup yang belum berjalan. Kompresor dan ekspander berupa mesin torak boalk-balik. Keduanya terhubung pada satu poros yang digerakkan oleh sumber tenaga dari luar, yang bisa berupa uap, listrik atau motor pembakaran dalam. Gambar selanjutnya (gambar 2.5.b) memperlihatkan gerakan torak sehingga udara masuk ke dalam kompresor. Pada saat yang sama udara di dalam ekspander terdorong ke dalam refrigerator.

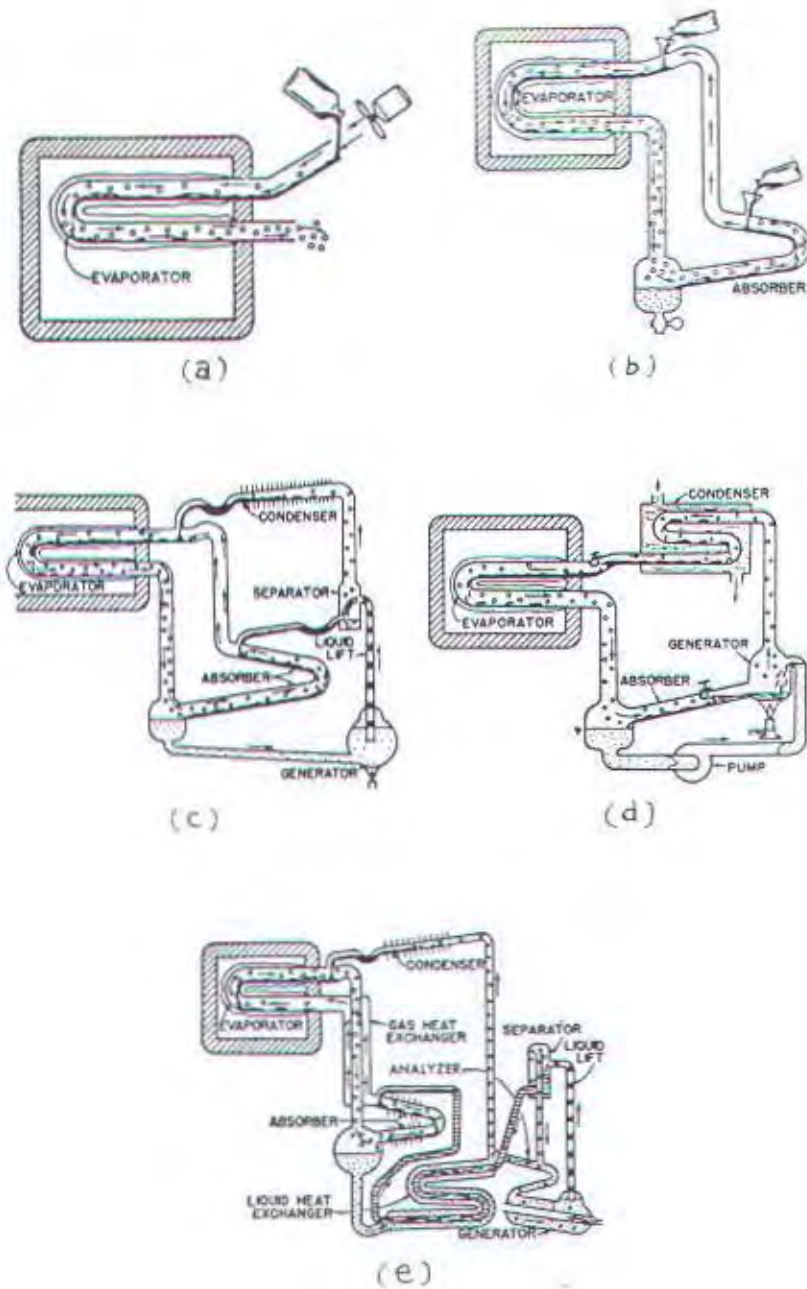
Gambar 2.5.c kompresor melakukan kompresi sehingga udara tertekan dan masuk ke dalam cooler dan pada saat yang bersamaan udara dari cooler masuk ke dalam ekspander. Bagian dari sistem mulai katup bukaan cooler hingga laluan ekspander dalam keadaan tekanan tinggi, sedangkan mulai dari ekspander hingga refrigerator dan masukan ke kompresor dalam tekanan rendah.

Pada gambar 2.5.d kedudukan kompresor dan ekspander sama seperti gambar 2.5.d. Air mengalir melalui cooler untuk meindahkan panas yang dihasilkan dari penekanan terhadap udara. Selanjutnya kedudukan kompresor dan ekspander seperti terlihat pada gambar 2.5.e, dimana saat itu terjadi ekspansi isentropik dari udara terkompresi ke dalam refrigerator yang menghasilkan temperatur udara lebih rendah.

2.2.6. Siklus Absorpsi Refrigerasi

Pada sistem ini, fungsi kompresor diganti dengan absorber dan generator. Sistem berjalan pada kenyataannya bergantung pada siklus kompresi vaporasi standard, tetapi fluida kedua masih ditambahkan ke dalam refrigeran. Di dalam ruang absorpsi, uap refrigeran dari evaporator yang ada di dalamnya kontak dengan fluida kedua yang menyerap panas yang dibawa oleh refrigeran, sehingga fluida kedua ini dinamakan absorben. Absorben ini lalu dipindahkan ke generator, dimana panas dibangkitkan, dan uap refrigeran dipisahkan lalu masuk ke dalam kondenser pada tekanan tinggi.

Absorben yang telah dipisahkan dari refrigeran dikembalikan ke dalam absorber dimana siklusnya kembali berulang (Jordan and Priester, 1956).



Gambar 2.6 Siklus absorpsi refrigerasi

Pada gambar 2.6.a digambarkan bentuk sederhana sistem refrigerasi ini dengan sebuah koil evaporator yang melalui ruangan yang didinginkan. Refrigeran dialirkan melalui bagian atas evaporator dan sebuah kipas digunakan untuk menjaga aliran steady di atas cairan refrigeran tersebut.

Gambar 2.6.b memperlihatkan sistem yang lebih baik dibandingkan sebelumnya dengan penambahan sebuah absorber. Refrigerannya adalah alkohol dan air digunakan sebagai absorber sehingga akan menghasilkan campuran air-alkohol.

Selanjutnya lihat gambar 2.6.c dimana dilakukan perbaikan sistem, di sini campuran kuat alkohol-air jatuh ke bawah oleh gravitasi ke dalam generator. Generator mendapatkan panasnya dari sebuah pembakar untuk mendidihkan campuran yang ada di dalamnya. Uap yang terjadi masuk ke dalam separator. Dari separator uap alkohol mengalir ke dalam kondensor dimana alkohol cair terbentuk yang digunakan sebagai refrigeran. Sementara campuran absorben lemah mengalir dari separator ke absorber dan mengambil panas uap alkohol dari evaporator.

Gambar 2.6.d terlihat sistem yang dioperasikan untuk keperluan komersial. Sedangkan pada gambar 2.6.e diperlihatkan sistem yang dipakai untuk keperluan domestik dengan penambahan peralatan penukar panas gas, penukar panas cairan, dan analiser untuk memperbesar efisiensi.

2.3. Perpindahan Panas

Perpindahan panas secara konduksi yang melalui bagian alas/dasar, dinding, dan atap ruangan refrigerasi sangat tergantung pada ketebalan dan konduktivitas termal bahan yang dipakai. Konveksi dan radiasi mungkin juga terjadi pada kedua sisi permukaan luar maupun dalam. Steady-state perpindahan panas dinyatakan sebagai koefisien perpindahan panas menyeluruh (overall heat transfer coefficient) dan dilambangkan dengan U . Sedangkan perbedaan temperatur antara sisi luar dengan sisi dalam dinyatakan dengan $\Delta t = (t_o - t_i)$. Baik dinding, alas maupun atap ruangan terdiri atas lapisan-lapisan komposit yang terbuat dari berbagai macam bahan yang berbeda, termasuk di dalamnya isolasi. Sehingga, dalam hal ini nilai U merupakan gabungan pengaruh dari seluruh bahan.

Bagian dinding, alas dan atap yang terdiri dari bermacam konstruksi dan isolasi material. Juga, bagian luar dan dalam permukaan mungkin terjadi konveksi dan radiasi dari atmosfer di sekelilingnya. Sehingga, akan terdapat lebih dari satu tahanan termal pada proses perpindahan panas. Dengan mengambil jumlah lapisan bahan yang berbeda dengan ketebalan yang bervariasi Δx dan konduktivitas termal k , maka koefisien perpindahan panas menyeluruh dinyatakan sebagai berikut:

$$q = U \cdot \Delta t = \frac{\Delta t}{R}$$

sehingga koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung dari hubungan:

$$\frac{1}{U} = R = \frac{1}{f_o} + \sum \left(\frac{\Delta x}{k} \right) + \sum \left(\frac{1}{C} \right) + \frac{1}{f_i}$$

Dari persamaan di atas, f_o dan f_i menyatakan koefisien perpindahan panas untuk kombinasi konveksi dan radiasi dari sisi permukaan luar dan dalam dinding. Juga disebut sebagai konduktansi permukaan.

2.4. Beban Pendinginan

Dalam menentukan beban pendinginan perlu dipertimbangkan dua hal penting, yaitu:

1. Transmisi panas dari luar ke dalam ruangan yang didinginkan. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah bukaan permukaan, ketebalan dan jenis isolasi yang dipakai, dan perbedaan temperatur antara udara luar dengan udara di dalam ruangan.
2. Penggunaan beban pendinginan dari ruangan. Beban ini ditentukan oleh temperatur barang yang terletak di dalam ruangan, panas spesifiknya, panas yang dibangkitkan, dan panas laten sesuai yang diinginkan. Pertimbangan lain adalah berapa kali dalam sehari pintu refrigerator dibuka dan panas yang berasal dari kipas, lampu, dan peralatan listrik lainnya.

Secara singkat panas total yang terjadi meliputi:

1. Beban transmisi panas dari dinding.
2. Beban produk.
3. Beban karena peralatan tambahan.

Pemilihan unit kondensasi biasanya diperoleh dari tabel dari pabrik pembuat peralatan kondensasi yang didasarkan pada kapasitas kondensasinya. Evaporator dipilih dari spesifikasi kapasitasnya untuk mengimbangi kapasitas dari unit kondensasi yang dipakai.

Ada lima faktor yang mempengaruhi transmisi panas yang terjadi ke dalam ruangan, yaitu:

1. Waktu. Semakin lama periode waktu yang terjadi, semakin banyak jumlah panas yang masuk melalui dinding ruangan. Satu waktu standard yang digunakan untuk perhitungan adalah 24 jam periode.
2. Perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur adalah faktor penting dalam perhitungan transmisi panas ke dalam ruangan. Perbedaan temperatur yang lebih besar akan memperbesar transfer panas dari luar ruangan melalui dinding. Temperatur yang dipilih untuk perhitungan biasanya didasarkan pada temperatur musim panas, dimana pada saat tersebut temperatur udara lebih tinggi dibandingkan saat musim dingin.
3. Ketebalan isolasi. Semakin tebal isolasi yang digunakan, semakin kecil jumlah panas yang melewatinya.
4. Jenis isolasi. Bahan yang digunakan sebagai isolasi merupakan pertimbangan penting dalam pembuatan ruangan pendingin. Gabus, sebagai contoh, akan memberikan isolasi panas empat kali lebih baik dibandingkan kayu dan delapan

atau sembilan kali lebih baik dibandingkan batu bata. Di lain pihak, beberapa jenis isolasi memiliki harga lebih mahal dibandingkan isolasi lainnya.

5. Keadaan daerah di luar dimana ruangan yang didinginkan berada. Satuan yang biasa dipakai untuk mengukur aliran panas adalah feet persegi. Daerah ini selalu diukur pada bagian luar ruangan.

2.4.1. Transmisi Panas

Kebocoran panas dari dinding dinyatakan dengan satuan nilai. Satuan atau nilai dasar dari konduktivitas termal (dilambangkan dengan K) merupakan daerah luasan isolasi dengan feet kuadrat, ketebalan dengan inchi, perbedaan temperatur dengan F , selama periode waktu satu jam atau dua puluh empat jam.

Jika ketebalan isolasi kurang atau lebih dari satu inchi, kebocoran panas dinyatakan berbeda, dan disimbolkan sebagai K_T .

Sebagai contoh:

$$K_T = K_1 / \text{tebal}$$

dimana: K_T = konduktansi total

K_1 = konduktansi untuk tebal satu inchi

Jadi, bila ketebalan isolasinya 2 inchi maka:

$$K_T = K_1 / 2$$

$$K_T = \frac{1}{2} K_1$$

Jika tebal isolasi adalah 1/2 inchi:

$$K_T = K_1 / (1/2)$$

$$K_T = K_1 \times 2$$

$$K_T = 2 K_1$$

Untuk menghitung kebocoran panas atau konduktivitas termal melalui dinding komposit, seperti dinding yang terbuat dari kayu dan gabus atau kayu dan logam, rumus untuk mencari harga K_T atau faktor konduktansi panas total dijelaskan sebagai berikut:

Hambatan untuk aliran panas dikenal dengan simbol R . Jika sejumlah panas yang sama mengalir melalui dua substansi bahan, hambatan totalnya sama dengan jumlah dari hambatan pada tiap-tiap substansi.

$$R_T = R_1 + R_2$$

dimana: R_T = total hambatan

R_1 = hambatan pada substansi 1

R_2 = hambatan pada substansi 2

R adalah kebalikan atau berlawanan terhadap K . Pada rumus akan berupa sebagai berikut:

$$1/K_T = 1/K_1 + 1/K_2$$

dimana: K_T = konduktansi total

K_1 = konduktansi bahan 1

K_2 = konduktansi bahan 2

Contoh:

Jika $K_1 = 0,6$ dan $K_2 = 0,2$

$$1/K_T = 1/0,6 + 1/0,2$$

$$1/K_T = 10/6 + 10/2$$

$$1/K_T = 5/3 + 5/1$$

$$1/K_T = 5/3 + 15/3$$

$$1/K_T = 20/3$$

$$K_T = 3/20$$

$$K_T = 0,15$$

Jika dinding terbuat dari tiga material yang berbeda, kebocoran panas menyeluruh adalah sebagai berikut:

$$K_T = \frac{1}{\frac{\text{ketebalan bahan 1}}{\text{faktor konduktivitas bahan 1}}} + \frac{1}{\frac{\text{ketebalan bahan 2}}{\text{faktor konduktivitas bahan 2}}} + \frac{1}{\frac{\text{ketebalan bahan 3}}{\text{faktor konduktivitas bahan 3}}}$$

dimana: Th_1 = ketebalan bahan 1

Th_2 = ketebalan bahan 2

Th_3 = ketebalan bahan 3

dan K_1 = faktor konduktivitas untuk bahan 1

K_2 = faktor konduktivitas untuk bahan 2

K_3 = faktor konduktivitas untuk bahan 3

Sehingga rumusnya menjadi:

$$K_T = \frac{1}{\frac{Th_1}{K_1} + \frac{Th_2}{K_2} + \frac{Th_3}{K_3}}$$

2.4.2. Beban Panas Produk

Benda apa pun yang diletakkan di dalam refrigerator, mempunyai temperatur lebih tinggi dibandingkan temperatur refrigerator, akan kehilangan panas hingga temperaturnya sama dengan temperatur refrigerator.

Ada tiga jenis perpindahan panas yang terjadi:

1. Panas spesifik.
2. Panas laten.
3. Panas respirasi.

Beban panas produk total terdiri atas jumlah ketiga beban panas di atas.

Sebagai contoh dari ketiga jenis beban panas tersebut di atas adalah ketimun yang memiliki suhu 55 F dimasukkan ke dalam refrigerator bersuhu 35 F. Ketimun harus didinginkan hingga suhunya sama dengan suhu refrigerator (35 F), jumlah panas yang dilepas pada proses ini yang disebut panas spesifik. Sejumlah kelembaban ketimun

akan menguap dan berkumpul di koil (panas laten), dan karena ketimun adalah sayuran yang masih hidup, ia akan berubah dan melepaskan energi (panas respirasi).

Beban panas produk dirumuskan sebagai berikut:

$$q = \frac{\text{berat produk} \times \text{panas spesifik} \times (t_1 - t_2)}{\text{waktu pendinginan} \times \text{faktor pendinginan}}$$

dengan t_1 adalah suhu awal bahan yang didinginkan dan t_2 adalah suhu akhir produk yang diinginkan, waktu pendinginan dihitung dalam jam dan faktor pendinginan bervariasi tergantung dari produk yang didinginkan dan rata-rata ditambahkan hingga 50% dari beban pendinginan rata-rata dalam jam. (Jordan & Priester, 1956).

2.4.3. Beban Panas Tambahan

Semua sumber panas yang tidak dihitung dengan transmisi panas, pendinginan produk, dan beban respirasi biasanya disebut dengan beban panas tambahan. Beberapa sumber panas tambahan yang umum dihitung pada ruang refrigerasi adalah:

1. Lampu-lampu
2. Motor listrik
3. Orang
4. Panas karena matahari, dsb.



BAB III

DATA TEKNIS

BAB III

DATA TEKNIS

Secara umum gambaran tentang ukuran kapal ikan yang dikaji adalah sebagai berikut:

- Length Over All : 23,40 m
- Length Between Perpendicular : 18,45 m
- Breadth : 5,20 m
- Depth : 2,20 m
- Draught : 1,60 m
- Kecepatan dinas : 9 knots (85% MCR)
- Mesin : 240 HP (MCR)
- Putaran : 2000 rpm
- Volume fish hold : 32 m³
- Volume bait hold : 2,3 m³
- Lama pelayaran : maksimal 14 hari
- Jumlah anak buah kapal : 11 orang
- Jenis alat tangkap : long line
- Bahan pembuat : kayu

Data Permesinan:

A. Mesin Utama

- Merek : YANMAR 6HA - THE
- Jenis : 4 tak, dilengkapi turbocharger, direct injection
- Jumlah : 1 set
- MCR : 240 HP
- RPM : 2.000 rpm, clock wise
- Bahan bakar : Diesel oil
- Gigi reduksi : 1 set (perbandingan 1 : 4)

B. Mesin Bantu

- Merek : YANMAR 4HCL - N
- Jenis : in line, 4 tak, pendingin air, direct injection,
naturally aspirated
- Jumlah : 2 set
- Power : 62 HP
- Putaran : 1.500 rpm
- Bahan bakar : Diesel oil



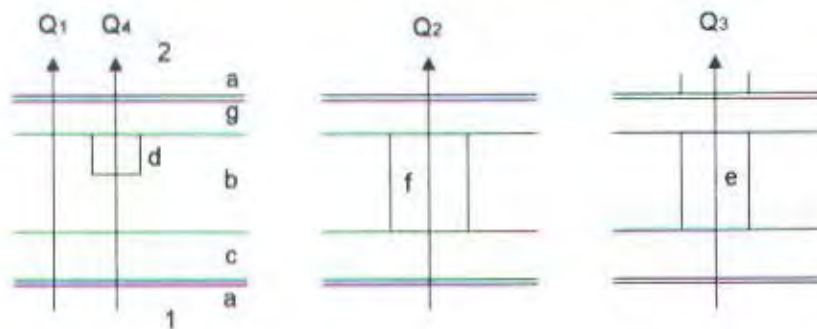
BAB IV PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN

BAB IV

PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN

4.1. Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas (U)

4.1.1. Koefisien Perpindahan Panas untuk Alas (U_{al})



Gambar 4.1 Penampang struktur alas

Tabel 4.1 Nama bagian struktur alas

Huruf	Nama	Tebal (cm)	Konduktivitas termal ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
1	permukaan bawah lantai, air laut	-	$6,67 \cdot 10^{-4}$
A	fibreglass	0,3	$3,065 \cdot 10^{-3}$
B	polyurethane	28	$2,31 \cdot 10^{-4}$
C	kayu	8	$1,15 \cdot 10^{-3}$
D	kayu penumpu	3	$1,15 \cdot 10^{-3}$
E	stiffener (kayu)	28	$1,15 \cdot 10^{-3}$
F	frame (kayu)	28	$1,15 \cdot 10^{-3}$
G	kayu	8	$1,15 \cdot 10^{-3}$
2	permukaan atas lantai, udara	-	1.074,21



Data air laut:

temperatur air laut = 30°C

asumsi kecepatan air laut = 9 knots = 4,5 m/detik

$L_{pp} = 18,45 \text{ m}$

kerapatan (ρ) = $0,823 \text{ kg/m}^3$

viskositas dinamis = $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m.s}$

konduktivitas termal (k) = $0,6194 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$

bilangan Prandtl (Pr) = 5,412

Dari data di atas dihitung bilangan Reynolds:

$$\begin{aligned} Re &= L \times V \times \rho / \nu \\ &= 18,45 \times 4,5 \times 0,823 / 2,2 \\ &= 3,11 \cdot 10^7 \end{aligned}$$

Jenis alirannya turbulen

Untuk aliran turbulen berlaku persamaan Dittus-Boetter:

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n$$

dengan:

$$Nu = \text{bilangan Nusselt} = h \times L / k$$

h = koefisien perpindahan panas konveksi

L = panjang kapal

k = konduktivitas termal

n = koefisien nondimensional

= 0,4 untuk pemanasan

= 0,3 untuk pendinginan

Diambil $n = 0,4$ karena terjadi aliran dari sisi luar ke sisi dalam fish hold yang lebih dingin, sehingga diperoleh:

$$Nu = 0,023 \times (3,11 \cdot 10^7)^{0,8} \times 5,412^{0,4} = 44.601,88$$

dan

$$h = Nu \times L / k$$

$$= 44.601,88 \times 0,6194 / 18,45 = 1.497,36 \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Jadi tahanan termal permukaan luar dinding fish hold adalah:

$$R_s = 1 / h = 1 / 1.497,36 = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Panjang keseluruhan:

$$\text{Luas lantai fish hold} = 136.437,333 \text{ m}^2$$

Di dalam ruang fish hold terdapat 15 frame, sehingga panjang seluruhnya adalah:

$$\begin{aligned} \text{panjang frame/gading} &= 2 \times (1.540 + 1.530 + 1.502 + 1.480 + 1.440 + 1.380 \\ &\quad + 1.340 + 1.280 + 1.190 + 1.190 + 1.120 + 1.040 + \\ &\quad 960 + 880 + 780 + 720) \\ &= 36.364 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang stiffener (3 buah)} = 2 \times (1.540 + 1.280 + 720) = 7.080 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang penumpu memanjang (4 buah)} = 2 \times (360 + 470 + 560 + 560) + 560$$

$$= 4.460 \text{ mm}$$

Sehingga luas penampang tiap laju aliran panas adalah:

$$Q_1 \rightarrow A_1 = 136.437.333 - 3.636.400 - 566.400 = 132.234.533 \text{ mm}^2$$

$$Q_2 \rightarrow A_2 = 36.364 \times 80 = 2.909.120 \text{ mm}^2 \text{ (lebar frame} = 80 \text{ mm)}$$

$$Q_3 \rightarrow A_3 = 7.080 \times 80 = 566.400 \text{ mm}^2 \text{ (lebar stiffener} = 80 \text{ mm)}$$

$$Q_4 \rightarrow A_4 = 4.460 \times 50 = 223.000 \text{ mm}^2 \text{ (lebar penumpu memanjang} = 50 \text{ mm)}$$

Selanjutnya untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk alas fish hold, perhatikan tabel berikut:

Tabel 4.2 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk alas fish hold

Huruf	Tebal	Konduktivitas	Q1	Q2	Q3	Q4
	cm	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C
1	-		6.67E-04	6.67E-04	6.67E-04	6.67E-04
A	0.3	3.07E-03	97.87928222	97.87928222	97.87928222	97.87928222
B	23	2.31E-04	121212.1212	0	0	121212.121
C	8	1.15E-03	6956.521739	6956.521739	6956.521739	6956.52174
D	3	1.15E-03	0	0	0	2608.69565
E	28	1.15E-03	0	0	24347.82609	0
F	28	1.15E-03	0	24347.82609	0	0
G	8	1.15E-03	6956.521739	6956.521739	6956.521739	6956.52174
2	-		1074.21	1074.21	1074.21	1074.21
Tahanan termal dari tiap laju aliran panas (R)			136297.2546	39432.95951	39432.95951	138905.95
	$U = 1/R$	A	A alas	A/A alas	A/A X U	
	W/cm ² .C	mm ²	mm ²		W/cm ² .C	
Q1	7.3369E-06	132234533	136437333	0.969196114	7.1109E-06	
Q2	2.5359E-05	3636400	136437333	0.026652529	6.75895E-07	
Q3	2.5359E-05	566400	136437333	0.004151356	1.05276E-07	
Q4	7.1991E-06	223000	136437333	0.00163445	1.17666E-08	
Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari alas					7.90384E-06	

keterangan:

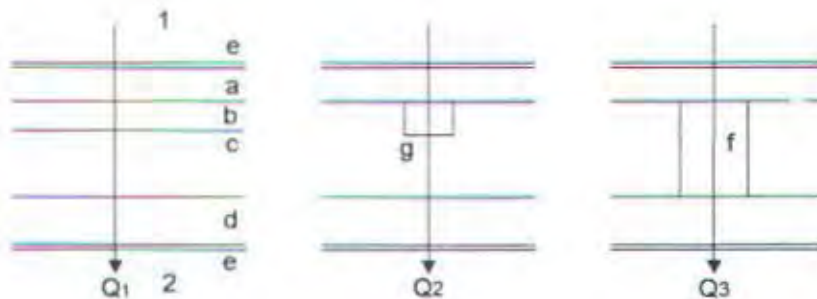
U = koefisien perpindahan panas dari tiap luasan laju aliran panas dengan tahanan termal dengan $U = 1/R$, dimana R adalah tahanan termal dari laju aliran panas

A = luas penampang tiap laju aliran panas

A/A alas = perbandingan luas penampang tiap laju aliran panas

Jadi $U_{al} = 7,9038.10^{-6} \text{ W/cm}^2.^\circ\text{C}$

4.1.2. Koefisien Perpindahan Panas untuk Atap (U_{at})



Gambar 4.2 Penampang struktur atap

Tabel 4.3 Nama bagian struktur atap

Huruf	Nama	Tebal (cm)	Konduktivitas termal ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
1	permukaan atas atap, udara bergerak	-	299,37
A	kayu	4	$1,15 \cdot 10^{-3}$
B	glasswool	2	$4 \cdot 10^{-4}$
C	polyurethane	18	$2,31 \cdot 10^{-4}$
D	kayu	2	$1,15 \cdot 10^{-3}$
E	fibreglass	0,3	$3,065 \cdot 10^{-4}$
F	deck beam (kayu)	20	$1,15 \cdot 10^{-3}$
G	kayu penunjang	6	$1,15 \cdot 10^{-3}$
2	permukaan bawah atap, udara	-	1.074,21

Panjang keseluruhan:

Di dalam ruang fish hold terdapat 15 deck beam, sehingga jumlah panjang keseluruhannya adalah:

$$= (4.700 \times 8) + 4.680 + 4.640 + 4.580 + 4.460 + 4.360 + 4.200 + 3.980$$

$$= 68.500 \text{ mm}$$

$$\text{panjang penumpu (9 buah)} = 9 \times 5.620 = 50.580 \text{ mm}$$

$$\text{Luas atap fish hold} = \text{luas atap keseluruhan} - \text{luas tutup palkah}$$

$$= 28.394.666,67 - 5.547.200 = 22.847.466,67 \text{ mm}^2$$

Sehingga luas penampang tiap laju aliran panas adalah:

$$Q_1 \rightarrow A_1 = 22.847.466,67 - 6.380.000 - 4.046.400 = 12.421.066,67 \text{ mm}^2$$

$$Q_2 \rightarrow A_2 = 100 \times 50.800 = 5.080.000 \text{ mm}^2 \text{ (lebar penumpu memanjang} = 100 \text{ mm)}$$

$$Q_3 \rightarrow A_3 = 80 \times 68.500 = 5.480.000 \text{ mm}^2 \text{ (lebar deck beam} = 80 \text{ mm)}$$

Selanjutnya untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk atap fish hold, perhatikan tabel berikut:

Tabel 4.4 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk atap

Huruf	Tebal	Konduktivitas	Q1	Q2	Q3
	cm	W/cm2.C	W/cm2.C	W/cm2.C	W/cm2.C
1	-		299.37	299.37	299.37
A	4	1.15E-03	3478.26087	3478.26087	3478.26087
B	2	4.00E-04	5000	0	0
C	18	2.31E-03	7792.207792	7792.207792	0
D	2	1.15E-03	1739.130435	6.6125E-07	2630064930
E	0.3	3.07E-04	978.7928222	3.13141E-07	978.7928222
F	20	1.15E-03	0	0	17391.30435
G	6	1.15E-03	5217.391304	5217.391304	0
2	-		1074.21	1074.21	1074.21
Tahanan termal dari tiap laju aliran panas (R)			25579.36322	17861.43997	2630088152
	U = 1/R	A	A atap	A/A atap	A/A X U
	W/cm2.C	mm2	mm2		W/cm2.C
Q1	3.9094E-05	132234533	136437333	0.969196114	3.78898E-05
Q2	5.5987E-05	3636400	136437333	0.026652529	1.49218E-06
Q3	3.8022E-10	566400	136437333	0.004151356	1.57841E-12
Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari atap					3.9382E-05

keterangan:

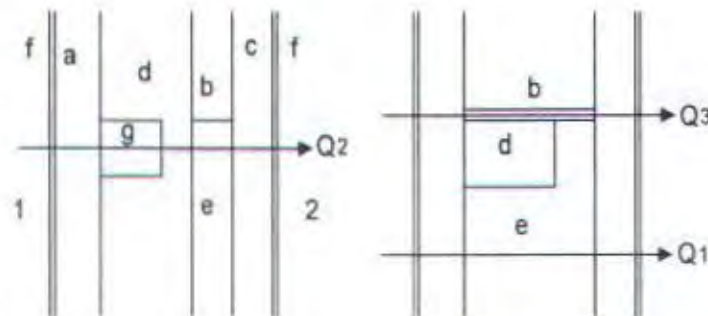
U = koefisien perpindahan panas dari tiap luasan laju aliran panas dengan tahanan termal dengan $U = 1/R$, dimana R adalah tahanan termal dari laju aliran panas

A = luas penampang tiap laju aliran panas

A/A_{atap} = perbandingan luas penampang tiap laju aliran panas

Jadi $U_{at} = 3,9382 \cdot 10^{-5} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.1.3. Koefisien Perpindahan Panas untuk Dinding di Atas LWL (U_{dal})



Gambar 4.3 Penampang struktur dinding Lwl

Tabel 4.5 Nama bagian struktur dinding di atas Lwl

Huruf	Nama	Tebal (cm)	Konduktivitas termal ($\text{W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
1	permukaan luar fish hold, udara bergerak	-	299,37
A	kayu	4	$1,15 \cdot 10^{-3}$
B	lug piece (stainless steel)	25	$2,66 \cdot 10^{-4}$
C	kayu	2	$1,51 \cdot 10^{-3}$
D	frame kayu	20	$1,51 \cdot 10^{-3}$
E	polyurethane	25	$2,31 \cdot 10^{-4}$
F	fibreglass	0,3	$3,605 \cdot 10^{-4}$
G	senta lambung kayu	10	$1,51 \cdot 10^{-3}$
2	permukaan dalam fish hold, udara	-	1.074,21

Panjang keseluruhan:

$$\text{luas dinding samping} = 420 \times 2810 = 1.180.200 \text{ mm}^2$$

$$\text{panjang frame/gading} = 420 \times 15 = 6.300 \text{ mm}$$

$$\text{panjang lug piece} = 200 \times 15 = 3.000 \text{ mm}$$

$$\text{panjang senta lambung} = 2.810 \text{ mm}$$

Sehingga luas penampang tiap laju aliran panas adalah:

$$Q_1 \rightarrow A_1 = 1.180.200 - 504.000 - 30.000 = 646.200 \text{ mm}^2$$

$$Q_2 \rightarrow A_2 = 6.300 \times 80 = 504.000 \text{ mm}^2$$

$$Q_3 \rightarrow A_3 = 3.000 \times 10 = 30.000 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk dinding fish hold, perhatikan tabel berikut:

Tabel 4.6 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding di atas Lwl

Huruf	Tebal	Konduktivitas	Q1	Q2	Q3
	cm	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C
1	-		299.37	299.37	299.37
A	4	1.15E-03	3478.26087	3478.26087	3478.26087
B	25	2.66E-04	0	0	93964.9624
C	2	1.15E-03	1739.13043	1739.13043	1739.13043
D	20	1.15E-03	0	17391.3043	0
E	25	2.31E-04	108225.108	0	0
F	0.6	3.61E-04	1664.35506	1664.35506	1664.35506
G	10	1.15E-03	0	0	0
2	-		1074.21	1074.21	1074.21
Tahanan termal dari tiap laju aliran panas (R)			116480.435	25646.6307	102240.289
	$U = 1/R$	A	A dinding	A/A dinding	A/A X U
	W/cm ² .C	mm ²	mm ²		W/cm ² .C
Q1	8.5851E-06	646200	1180200	0.54753432	4.7007E-06
Q2	3.8991E-05	504000	1180200	0.42704626	1.6651E-05
Q3	9.7809E-06	30000	1180200	0.02541942	2.4862E-07
Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari dinding					2.16E-05

keterangan:

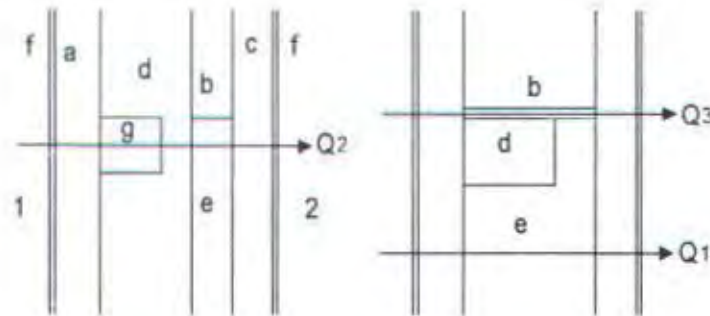
U = koefisien perpindahan panas dari tiap luasan laju aliran panas dengan tahanan termal dengan $U = 1/R$, dimana R adalah tahanan termal dari laju aliran panas

A = luas penampang tiap laju aliran panas

A/A dinding = perbandingan luas penampang tiap laju aliran panas

Jadi $U_{dal} = 2,16.10^{-5} \text{ W/cm}^2.^\circ\text{C}$

4.1.4. Koefisien Perpindahan Panas Dinding di Bawah LWL (U_{dbl})



Gambar 4.4 Penampang struktur dinding Lwl

Tabel 4.7 Nama bagian struktur dinding di bawah Lwl

Huruf	Nama	Tebal (cm)	Konduktivitas termal ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
1	permukaan luar fish hold, udara bergerak	-	299,37
A	kayu	4	$1,15 \cdot 10^{-3}$
B	lug piece (stainless steel)	25	$2,66 \cdot 10^{-4}$
C	kayu	2	$1,51 \cdot 10^{-3}$
D	frame kayu	20	$1,51 \cdot 10^{-3}$
E	polyurethane	25	$2,31 \cdot 10^{-4}$
F	fibreglass	0,3	$3,605 \cdot 10^{-4}$
G	senta lambung kayu	10	$1,51 \cdot 10^{-3}$
2	permukaan dalam fish hold, udara	-	1.074,21

Data air laut:

temperatur air laut = $30^\circ C$

asumsi kecepatan air laut = 9 knots = 4,5 m/detik

$$L_{pp} = 18,45 \text{ m}$$

$$\text{kerapatan } (\rho) = 0,823 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{viskositas dinamis} = 2,2 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m.s}$$

$$\text{konduktivitas termal } (k) = 0,6194 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{bilangan Prandtl } (Pr) = 5,412$$

Dari data di atas dihitung bilangan Reynolds:

$$\begin{aligned} Re &= L \times V \times \rho / \nu \\ &= 18,45 \times 4,5 \times 0,823 / 2,2 \\ &= 3,11 \cdot 10^7 \end{aligned}$$

Jenis alirannya turbulen

Untuk aliran turbulen berlaku persamaan Dittus-Boetter:

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n$$

dengan

$$Nu = \text{bilangan Nusselt} = h \times L / k$$

h = koefisien perpindahan panas konveksi

L = panjang kapal

k = konduktivitas termal

n = koefisien nondimensional

= 0,4 untuk pemanasan

= 0,3 untuk pendinginan

Diambil $n = 0,4$ karena terjadi aliran dari sisi luar ke sisi dalam fish hold yang lebih dingin, sehingga diperoleh:

$$Nu = 0,023 \times (3,11 \cdot 10^7)^{0,8} \times 5,412^{0,4} = 44.601,88$$

dan

$$h = Nu \times L / k$$

$$= 44.601,88 \times 0,6194 / 18,45 = 1.497,36 \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Jadi tahanan termal permukaan luar dinding fish hold adalah:

$$R_s = 1 / h = 1 / 1.497,36 = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Panjang keseluruhan:

luas dinding samping di bawah LWL

$$= 460 \times 2810 + 870 \times 2810 = 3.737.300 \text{ mm}^2$$

$$\text{panjang frame/gading} = 14 \times (460 + 870) = 18.620 \text{ mm}$$

$$\text{luas lug piece/steel} = 4 \times 100 = 400 \text{ mm}^2$$

Sehingga luas penampang tiap laju aliran panas adalah:

$$Q_1 \rightarrow A_1 = 18.620 \times 100 = 1.862.000 \text{ mm}^2$$

$$Q_2 \rightarrow A_2 = 3.737.300 - 1.862.000 - 744.800 - 84.000 = 1.791.300 \text{ mm}^2$$

$$Q_3 \rightarrow A_3 = 18.620 \times 60 = 744.800 \text{ mm}^2$$

$$Q_4 \rightarrow A_4 = 14 \times 100 \times 60 = 84.000 \text{ mm}^2$$

$$Q_5 \rightarrow A_5 = 14 \times 64 \times 90 = 80.640 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk dinding fish hold, perhatikan tabel berikut:

Tabel 4.8 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding di bawah Lwl

Huruf	Tebal cm	Konduktivitas W/cm2.C	Q1 W/cm2.C	Q2 W/cm2.C	Q3 W/cm2.C
1	-		6.67E-04	6.67E-04	6.67E-04
A	4	1.15E-03	3478.26087	3478.26087	3478.26087
B	25	2.66E-04	0	0	93984.9624
C	2	1.15E-03	1739.13043	1739.13043	1739.13043
D	20	1.15E-03	0	17391.3043	0
E	25	2.31E-04	108225.108	0	0
F	0.6	3.61E-04	1664.35506	1664.35506	1664.35506
G	10	1.15E-03	0	0	0
2	-		1074.21	1074.21	1074.21
Tahanan termal dari tiap laju aliran panas (R)			116181.065	25347.2614	101940.919
	$U = 1/R$	A	A dinding	A/A dinding	A/A X U
	W/cm2.C	mm2	mm2		W/cm2.C
Q1	8.6073E-06	646200	1180200	0.54753432	4.7128E-06
Q2	3.9452E-05	504000	1180200	0.42704626	1.6848E-05
Q3	9.8096E-06	30000	1180200	0.02541942	2.4935E-07
Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari dinding					2.181E-05

keterangan:

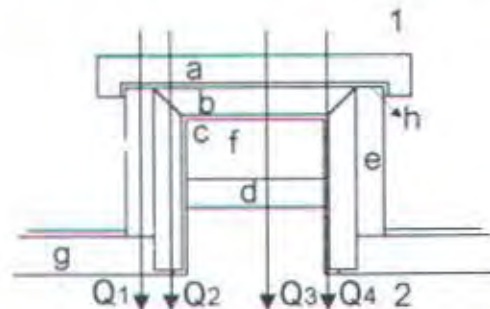
U = koefisien perpindahan panas dari tiap luasan laju aliran panas dengan tahanan termal dengan $U = 1/R$, dimana R adalah tahanan termal dari laju aliran panas

A = luas penampang tiap laju aliran panas

A/A dinding = perbandingan luas penampang tiap laju aliran panas

Jadi $U_{dbi} = 2,181.10^{-5} \text{ W/cm}^2, ^\circ\text{C}$

4.1.5. Koefisien Perpindahan Panas untuk Tutup Palkah (U_{tp})



Gambar 4.5 Penampang struktur tutup palkah

Tabel 4.9 Nama bagian struktur tutup palkah

Huruf	Nama	Tebal (cm)	Konduktivitas termal ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
1	permukaan luar tutup palkah, udara bergerak	-	229,37
A	kayu	5	$1,15 \cdot 10^{-3}$
B	polyurethane	5	$2,31 \cdot 10^{-4}$
C	stainless steel	60	$1,51 \cdot 10^{-1}$
D	polyurethane	5	$2,31 \cdot 10^{-4}$
E	kayu	60	$1,15 \cdot 10^{-3}$
F	udara	-	$2,66 \cdot 10^{-4}$
G	kayu	4	$1,15 \cdot 10^{-3}$
H	karet	2	$1,59 \cdot 10^{-3}$
2	permukaan dalam ruang fish hold, udara	-	1.620,12

Panjang keseluruhan:

$$\text{luasan tutup palkah (4)} = 4 \times (1520 \times 900) = 5.472.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{panjang polyurethane (1)} = 4 \times 1360 = 5.440 \text{ mm}$$

$$\text{panjang stainless steel} = 4 \times 1360 = 5.440 \text{ mm}$$

$$\text{panjang polyurethane (2)} = 4 \times 1360 = 5.440 \text{ mm}$$

$$\text{panjang kayu penegar samping} = 6 \times 4 \times 1360 = 32.640 \text{ mm}$$

$$\text{panjang kayu dasar} = 4 \times 1360 = 5.440 \text{ mm}$$

$$\text{panjang kayu lapisan dalam} = (1.360 \times 740) \times 2 \times 4 = 7.280 \text{ mm}$$

$$\text{panjang rubber} = 4.200 \times 4 = 16.800 \text{ mm}$$

Sehingga luas penampang tiap laju aliran panas adalah:

$$Q_1 \rightarrow A_1 = 32.640 \times 30 = 979.200 \text{ mm}^2$$

$$Q_2 \rightarrow A_2 = 16.800 \times 60 = 1.008.000 \text{ mm}^2$$

$$Q_3 \rightarrow A_3 = 5.440 \times 740 = 4.025.600 \text{ mm}^2$$

$$Q_4 \rightarrow A_4 = 2.720 \times 60 = 163.200 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk tutup fish hold, perhatikan tabel berikut:

Tabel 4.10 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk tutup palkah

Huruf	Tebal	Konduktivitas	Q1	Q2	Q3	Q4
	cm	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C	W/cm ² .C
1	-	229.37	229.37	229.37	229.37	229.37
A	5	1.15E-03	4347.82609	4347.82609	4347.82609	4347.82609
B	5	2.31E-04	0	21645.0216	21645.0216	21645.0216
C	60	1.51E-01	0	0	397.350993	397.350993
D	5	2.31E-04	0	0	21645.0216	0
E	60	1.15E-03	52173.913	0	0	0
F		2.66E-04	0	0	3759.3965	0
G	4	1.15E-03	3478.26087	0	0	0
H	2	1.59E-03		1257.86164	1257.86164	1257.86164
2	-		1620.12	1620.12	1620.12	1620.12
Tahanan termal dari tiap laju aliran panas (R)			61849.49	29100.1994	54901.9705	29497.5504

	U = 1/R	A	A tutup	A/A tutup	A/A X U
	W/cm ² .C	mm	mm		W/cm ² .C
Q1	1.6168E-05	132234533	136437333	0.96919611	1.567E-05
Q2	3.4364E-05	3636400	136437333	0.02665253	9.1589E-07
Q3	1.8214E-05	566400	136437333	0.00415136	7.5614E-08
Q4	3.3901E-05	223000	136437333	0.00163445	5.541E-08
Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari tutup					1.6717E-05

keterangan:

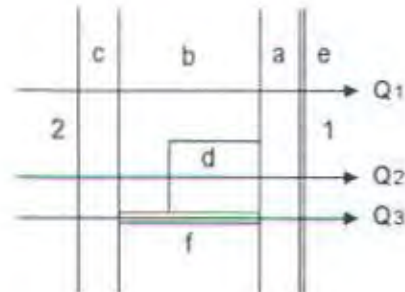
U = koefisien perpindahan panas dari tiap luasan laju aliran panas dengan tahanan termal dengan $U = 1/R$, dimana R adalah tahanan termal dari laju aliran panas

A = luas penampang tiap laju aliran panas

A/A tutup = perbandingan luas penampang tiap laju aliran panas

Jadi $U_p = 1,672 \cdot 10^{-5} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

4.1.6. Koefisien Perpindahan Panas Dinding Isolasi Belakang (U_{dib})



Gambar 4.6 Penampang struktur dinding isolasi belakang

Tabel 4.11 Nama bagian struktur dinding isolasi belakang

Huruf	Nama	Tebal (cm)	Konduktivitas termal ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
1	permukaan dalam dinding isolasi, udara	-	1.206,16
A	kayu	20	$1,15 \cdot 10^{-3}$
B	polyurethane	120	$2,31 \cdot 10^{-4}$
C	kayu	10	$1,51 \cdot 10^{-1}$
D	stiffener	40	$2,31 \cdot 10^{-4}$
E	fibreglass	0,3	$1,15 \cdot 10^{-3}$
F	lug piece (stainless steel)	120	$2,66 \cdot 10^{-4}$
2	permukaan luar dinding isolasi, udara	-	1.206,16

Panjang keseluruhan:

$$\text{luasan dinding} = 147.200 + 79.200 = 226.400 \text{ mm}^2$$

$$\text{luasan kayu penumpu} = 7.870 + 1.760 + 1.520 = 11.150 \text{ mm}^2$$

$$\text{luasan lug piece} = 1.960 + 440 + 380 = 2.780 \text{ mm}^2$$

$$\text{luasan polyurethane} = 226.400 - 11.150 - 2.780 = 212.470 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk dinding fish hold, perhatikan tabel berikut:

Tabel 4.12 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding isolasi belakang

Huruf	Tebal cm	Konduktivitas W/cm2.C	Q1 W/cm2.C	Q2 W/cm2.C	Q3 W/cm2.C
1	-		1206.16	1206.16	1206.16
A	20	1.15E-03	17391.3043	17391.3043	17391.3043
B	120	2.31E-04	519480.519	0	0
C	10	1.15E-03	8695.65217	8695.65217	8695.65217
D	40	1.15E-03	0	34782.6087	0
E	0.3	3.07E-04	978.792822	978.792822	978.792822
F	120	5.54E-01	0	216.763006	216.763006
2	-		1206.16	1206.16	1206.16
Tahanan termal dari tiap laju aliran panas (R)			548958.589	64477.441	29694.8323
	$U = 1/R$ W/cm2.C	A mm2	A dinding mm2	A/A dinding	A/A X U W/cm2.C
Q1	1.8216E-06	212470	226400	0.93847173	1.7095E-06
Q2	1.5509E-05	11150	226400	0.04924912	7.6382E-07
Q3	3.3676E-05	2780	226400	0.01227915	4.1351E-07
Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari dinding					2.8869E-06

keterangan:

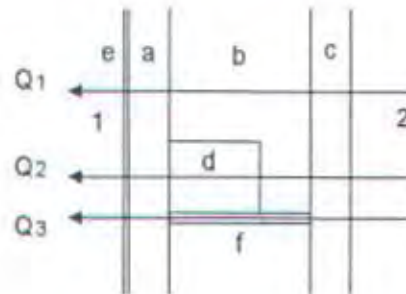
U = koefisien perpindahan panas dari tiap luasan laju aliran panas dengan tahanan termal dengan $U = 1/R$, dimana R adalah tahanan termal dari laju aliran panas

A = luas penampang tiap laju aliran panas

A/A dinding = perbandingan luas penampang tiap laju aliran panas

Jadi $U_{dib} = 2,887.10^{-6} \text{ W/cm}^2.^\circ\text{C}$

4.1.7. Koefisien Perpindahan Panas Dinding Isolasi Depan (U_{dip})



Gambar 4.7 Penampang struktur dinding isolasi depan

Tabel 4.13 Nama bagian struktur dinding isolasi depan

Huruf	Nama	Tebal (cm)	Konduktivitas termal ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
1	permukaan dalam dinding isolasi, udara	-	1.206,16
A	kayu	20	$1,15 \cdot 10^{-3}$
B	polyurethane	120	$2,31 \cdot 10^{-4}$
C	kayu	10	$1,51 \cdot 10^{-1}$
D	stiffener	40	$2,31 \cdot 10^{-4}$
E	fibreglass	0,3	$1,15 \cdot 10^{-3}$
F	lug piece (stainless steel)	120	$2,66 \cdot 10^{-4}$
2	permukaan luar dinding isolasi, udara	-	1.206,16

Panjang keseluruhan:

$$\text{luasan dinding} = 94.800 \text{ mm}^2$$

$$\text{luasan kayu penumpu} = 7.840 + 480 = 8.320 \text{ mm}^2$$

$$\text{luasan lug piece} = 1.680 + 440 = 2.120 \text{ mm}^2$$

$$\text{luasan polyurethane} = 94.800 - 8.320 - 2.120 = 84.360 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk dinding fish hold, perhatikan tabel berikut:

Tabel 4.14 Perhitungan koefisien perpindahan panas untuk dinding isolasi depan

Huruf	Tebal cm	Konduktivitas W/cm ² .C	Q1 W/cm ² .C	Q2 W/cm ² .C	Q3 W/cm ² .C
1	-		1206.16	1206.16	1206.16
A	20	1.15E-03	17391.3043	17391.3043	17391.3043
B	120	2.31E-04	519480.519	0	0
C	10	1.15E-03	8695.65217	8695.65217	8695.65217
D	40	1.15E-03	0	34782.6087	0
E	0.3	3.07E-04	978.792822	978.792822	978.792822
F	120	5.54E-01	0	216.763006	216.763006
2	-		1206.16	1206.16	1206.16
Tahanan termal dari tiap laju aliran panas (R)			548958.589	64477.441	29694.8323
	$U = 1/R$ W/cm ² .C	A mm ²	A dinding mm ²	A/A dinding	A/A X U
Q1	1.8216E-06	84360	94800	0.88987342	1.621E-06
Q2	1.5509E-05	8320	94800	0.08776371	1.3612E-06
Q3	3.3676E-05	2120	94800	0.02236287	7.5309E-07
Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari dinding					3.7353E-06

keterangan:

U = koefisien perpindahan panas dari tiap luasan laju aliran panas dengan tahanan termal dengan $U = 1/R$, dimana R adalah tahanan termal dari laju aliran panas

A = luas penampang tiap laju aliran panas

A/A dinding = perbandingan luas penampang tiap laju aliran panas

Jadi $U_{dip} = 3,735 \cdot 10^{-5} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.2. Perhitungan Beban Pendingin

Beban pendingin meliputi:

1. beban produk
2. beban ruangan
3. beban infiltrasi
4. beban transmisi
5. beban internal

4.2.1. Beban Produk

Data ikan tuna yang didapat:

- temperatur saat penangkapan = 28 °C
- temperatur yang diharapkan = 0 °C
- panas spesifik ikan tuna di atas titik freezing = 0,76 Kal/kg. °C
- berat seluruh ikan tuna saat penangkapan = 8 ton
- waktu pengesan = 16 jam

Besar kalor yang diserap es sampai suhu 0 °C:

$$Q_t = m \cdot c \cdot \Delta t / \theta$$

dimana: m = berat produk (gram)

c = panas spesifik produk

Δt = selisih suhu awal ikan dengan suhu ikan yang direncanakan

θ = waktu untuk mendinginkan produk (jam)

Sehingga:

$$Q_t = 8 \cdot 10^6 \times 0,57 \times (28 - 0) / 16$$

$$= 7.980 \text{ kkal/jam}$$

Besar kalor untuk mempertahankan suhu tuna pada kondisi penyimpanannya:

$$Q_f = m \times L / \theta_p$$

dimana: m = berat produk

L = panas laten tuna di atas titik freezing

θ_p = waktu untuk kembali ke dermaga (jam)

Sehingga:

$$Q_f = 8 \cdot 10^6 \times 41,85 / 48$$

$$= 6.975 \text{ kkal/jam}$$

Total beban kalor produk:

$$Q_t + Q_f = 7.980 + 6.975 = 14.955 \text{ kkal/jam}$$

$$= 14.955 \text{ kkal/jam} \times 1/860 \text{ kW}$$

$$= 17,39 \text{ kW/hari}$$

4.2.2. Perhitungan Beban Infiltrasi

Penyebab beban infiltrasi adalah bukaan palkah (tutupnya) saat memasukkan tuna.

Kondisi dasar:

- Volume fish hold 32 m^3 dengan kapasitas maksimum 8 ton
- Temperatur udara luar 35°C
- Dari survei diperoleh bahwa waktu bukaan palkah untuk memasukkan ikan tuna dan menatanya = 30 menit untuk satu kali tangkapan
- Untuk pergantian udara tiap jam, dengan volume 32 m^3 dan suhu 0°C tiap 24 jam maka diperoleh harga bukaan 5,9 kali (Dossat, Roy J., 1981) dengan faktor koreksi 50% dari harga awal.

Sehingga pergantian udara tiap jam dalam satu kali pelayaran (14 hari) untuk

kondisi pelayaran adalah $= (5,9 / 24) / [0,5 / (14 \times 24)]$

$$= 165,2 \text{ kali/jam.pelayaran}$$

Sedangkan panas gain yang masuk tiap m^3 udara (dengan kondisi udara sebagai berikut: suhu 35°C , suhu fish hold $21,1^\circ\text{C}$, kelembaban 74%) adalah $0,0176 \text{ kkal/m}^3$.

Sehingga beban infiltrasi di fish hold adalah:

$$q = \text{volume ruangan} \times \text{jumlah pergantian udara tiap jam} \times \text{panas gain yang masuk tiap } \text{m}^3 \text{ udara}$$

$$= 32 \times 165,2 \times 0,0176$$

$$= 93,04 \text{ kkal/jam pelayaran}$$

$$= (93,04 \times 41 / 60) \times 69,79 \text{ watt/pelayaran}$$

$$= 108,19 \text{ watt/14 hari}$$

$$= 7,728 \text{ watt/hari}$$

4.2.3. Perhitungan Beban Transmisi di Ruang Fish Hold

Beban transmisi di ruang fish hold disebabkan oleh:

- Transmisi matahari, yang terjadi pada atap, dinding samping kiri dan kanan di atas LWL
- Transmisi air laut yang terjadi pada alas dan dinding samping kiri dan kanan di bawah LWL

4.2.3.1. Transmisi Matahari

a. Dinding Samping Kiri dan Kanan

Warna cat dinding kapal terang (light coloured surfaces) sehingga diperoleh harga koreksi sebagai berikut:

- dinding sebelah Timur dan Barat = $2,22^{\circ} \text{ C}$
- dinding sebelah Utara dan Selatan = $1,11^{\circ} \text{ C}$

Digunakan harga berdasarkan referensi Wiranto Arismunandar (Penyegaran Udara, 1986) bahwa beban puncak terjadi pada: bagian Timur pada pukul 09.00 - 11.00; bagian Selatan pada pukul 12.00 - 14.00; bagian Barat pada pukul 16.00 - 18.00.

Dengan mengambil asumsi bahwa beban puncak terjadi pada saat dinding menghadap ke arah Timur maka beban kalor yang terjadi adalah:

$$Q = U \times A \times [(t_2' - t_1) \times F_1 + (t_2 - t_1) \times F_2]$$

dengan:

$$U = \text{koefisien perpindahan panas total dinding} = 2,16 \cdot 10^{-5} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = \text{luas total dinding} = 11.802 \text{ cm}^2$$

$$t_1 = \text{temperatur ruangan} = 21,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \text{temperatur udara luar tanpa sun factor} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2' = \text{temperatur udara luar} + \text{koreksi} = 35 + 2,22 = 37,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$F_1 = \text{faktor lama penyinaran matahari pada beban penuh dengan posisi} \\ \text{dinding Timur} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$F_2 = \text{faktor lama penyinaran matahari dengan sun factor} \\ = 24 - 2 = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Jadi beban kalornya:

$$Q = 2,16 \cdot 10^{-5} \times 11.802 \times [(37,22 - 21,1) \times 2 + (35 - 21,1) \times 22] \\ = 86,174 \text{ Watt}$$

Beban kalor harian:

$$q = Q / \text{hari} \\ = 86,174 \times 10^{-3} \times 12 / 30 \\ = 34,47 \cdot 10^{-3} \text{ kW/hari}$$

$$\begin{aligned}
 &= 7,9038 \cdot 10^{-6} \times 136.437,33 \times (30 - 21,1) \times 24 \\
 &= 230,34 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4.2.4. Beban Internal pada Ruang Fish Hold

Beban internal pada ruangan fish hold dibedakan atas 2 sumber:

1. Sumber penerangan yang dihasilkan oleh lampu, peralatan yang dioperasikan di dalam ruangan, akan tetapi karena di dalam kapal ikan ini hanya lampu yang ada didalam ruangan pendingin maka tidak membahas peralatan yang dioperasikan.
2. Orang yang bekerja di dalam fish hold baik saat memasukkan ikan ke fish hold maupun orang yang mengatur letak ikan-ikan tersebut,

Secara terpisah dilakukan perhitungan terhadap kedua beban tersebut:

1. Akibat lampu

- Terdapat 2 lampu pada ruangan dengan daya masing-masing 40 watt, dengan penyalan 30 menit perhari, sehingga :

$$\begin{aligned}
 q &= \text{Jumlah lampu} \times \text{panas ekuivalen tiap lampu} \times \text{lama kerja} / 24 \text{ jam} \\
 &= 2 \times 40 \times 0,5 / 24 \\
 &= 1,667 \text{ Watt/hari}
 \end{aligned}$$

2. Akibat manusia

- Dari survei diperoleh data bahwa saat pembongkaran ada dua orang yang bekerja untuk menempatkan ikan-ikan agar proses pendinginan berlangsung sempurna

$$q = \text{jumlah pekerja} \times \text{panas ekuivalen pekerja} \times \text{lama kerja} / 24 \text{ jam}$$

$$= 2 \times 0,439 \times 0,5 / 24$$

$$= 1,83 \cdot 10^{-2} \text{ Watt/hari}$$

4.2.5. Beban Kontainer Pada Konstruksi Dinding Isolasi Fish Hold

a. Dinding Isolasi di Belakang Fish Hold

Dari perhitungan U, diperoleh data :

- Luasan total dinding = 226.400 mm^2
- $U = 2,88 \cdot 10^{-6} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Sehingga beban kontainer fish hold:

$$q = U \times A \times (t_{bb} - t_{th}) / 24 \text{ jam}$$

$$= 2,88 \cdot 10^{-6} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times 226.400 \text{ mm}^2 \times (35 - 21,1) / 24 \text{ jam}$$

$$= 0,378 \text{ kW/hari}$$

b. Dinding Isolasi di Depan Fish Hold

Dari perhitungan U, diperoleh data:

- Luasan dinding isolasi di depan fish hold = 94.800 mm^2
- $U = 3,735 \cdot 10^{-6} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Sehingga beban kontainer fish hold :

$$\begin{aligned}
 q &= U \times A \times (t_{fw} - t_{fh}) / 24 \text{ jam} \\
 &= 3,735 \cdot 10^{-6} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times 94.800 \text{ mm}^2 \times (35 - 21,1) / 24 \text{ jam} \\
 &= 0,205 \text{ kW/hari}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Kesimpulan Hasil Akhir Beban Pendinginan

Tabel 4.15 Beban pendinginan pada fish hold

Beban pada ruang fish hold	kW/hari
Beban produk	17,9
Beban infiltrasi	0,007728
Beban transmisi matahari	
• dinding samping diatas LWL	0,03447
• atap	0,587
Beban transmisi air laut	
• alas	0,23034
• dinding samping di bawah LWL	0,1669
Beban peralatan listrik	
• lampu	0,00167
• orang	0,00000183
Beban kontainer	
• dinding isolasi belakang	0,378
• dinding isolasi depan	0,205
Total	19,511

4.3. Analisis Perhitungan Kompresor

Sebelum kita membahas kompresor perlulah kiranya diketahui terlebih dulu penentuan jenis refrigeran, karena refrigeran ini merupakan medium vital/penting bagi sebuah sistem refrigerasi. Sebab sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja semua peralatan yang digunakan.

4.3.1. Penentuan Jenis Refrigeran

Definisi refrigeran merupakan suatu substansi kerja di dalam suatu sistem refrigerasi. Adapun karakteristik termodinamika dari refrigeran tersebut meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan. Di bawah ini merupakan hal-hal yang perlu di pertimbangkan sehubungan dengan pemilihan suatu jenis refrigeran.

- a. Tekanan penguapan yang tinggi.

Hal tersebut dapat dihindari kemungkina terjadinya vakum pada evaporator dan turunnya volumetris karena naiknya perbandingan kompresi

- b. Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi

Dengan tekanan yang rendah maka perbandingan kompresinya akan lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan dan juga kondisi tekanan kerja yang lebih rendah maka resiko kerusakan juga akan berkurang.

- c. Kalor penguapan harus tinggi

Refrigeran yang kalor penguapannya tinggi akan memberi keuntungan, karena untuk refrigerasi yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi kecil.

- d. Volume spesifik yang cukup kecil

Dengan volume spesifik dari refrigeran yang kecil maka akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang kecil, sehingga akan berpengaruh terhadap dimensi dari unit refrigerasi yang bersangkutan.

- e. Koefisien prestasi yang tinggi. Parameter ini berkaitan dengan biaya operasi (operasional cost).

- f. Konduktivitas termal yang tinggi

- g. Viskositas yang rendah dalam fase cair maupun gas.

- h. Konstanta dielektronika dari refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolasi listrik. Parameter ini akan sangat berguna terutama untuk penggunaan kompresor hermetik.

- i. Refrigeran hendaknya stabil, tidak bereaksi dengan material yang dipakai dan tidak menyebabkan korosi.

- j. Tidak beracun dan tidak merangsang baunya.

- k. Tidak mudah terbakar dan tidak mudah meledak.

- l. Harus mudah dideteksi bila terjadi kebocoran.

- m. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.

Dari semua parameter tersebut, maka dalam pembahasan ini jenis refrigeran yang dipilih adalah R-22. Hal ini didasarkan bahwa refrigeran jenis ini lazim digunakan dalam unit-unit refrigerasi pada umumnya.

Adapun karakteristik R-22 sebagai berikut :

- Rumus kimia = CHClF_2
- Tekanan penguapan = $6 \text{ kg/cm}^2.\text{abs}$
- Tekanan pengembunan = $17,71 \text{ kg/cm}^2.\text{abs}$
- Temperatur kritis = $96 ^\circ\text{C}$
- Tekanan kritis = $49,12 \text{ kg/cm}^2.\text{abs}$
- Kalor spesifik cair = $0,335 \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$
- Kalor laten penguapan = $55,92 \text{ kal/g}$
- Volume spesifik cair = $0,883 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Tidak beracun dan non flammable

4.3.2. Karakteristik Kompresor

Jenis-jenis kompresor dapat digolongkan berdasarkan metode kompresi, bentuk, kecepatan putar, gas refrigeran yang bekerja padanya, konstruksi maupun prinsip kerjanya.

Secara sederhana dibagi menjadi dua, yaitu:

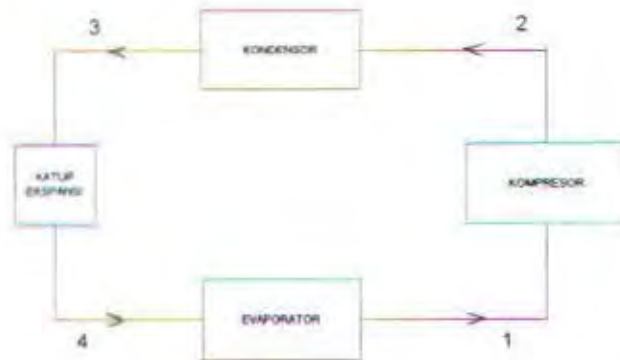
- Kompresor positif: gas refrigeran dihisap masuk ke dalam silinder lalu dikompresikan

- Kompresor negatif: non positif, gas refrigeran dihisap masuk , dipercepat alirannya oleh impeler sehingga tekanannya naik.

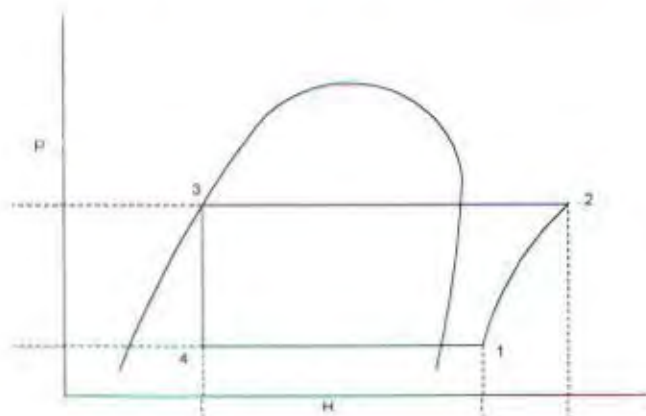
Bila ditinjau berdasarkan prinsip kerjanya, terdiri atas tiga:

- Kompresor sekrup: uap refrigeran masuk pada saat terjadi ruang hampa pada posisi hisap, selanjutnya uap refrigeran dipaksa ikut berputar mengelilingi rumah kompresor. Saat cuping rotor dan lekuk rotor berada pada satu sisi maka pada saat ini volume uap secara otomatis akan diperkecil sehingga tekanan uap akan naik. Proses selanjutnya uap tertekan keluar lewat lubang buang.
- Kompresor sudu: dibedakan atas sudu roller tunggal dan kompresor sudu banyak. Kompresor sudu banyak dipakai untuk lemari es, freezer, dan AC rumah tangga.
- Kompresor sentrifugal: banyak digunakan untuk instalansi besar, misalnya sistem dengan kapasitas 200 - 10.000 kW

4.3.3. Daur/Siklus Refrigeran



Gambar 4.8 Skema sistem refrigerasi kompresi vaporasi



Gambar 4.9 Siklus refrigeran pada sistem refrigerasi kompresi vaporasi

1-2 Kompresi adiabatik dan isentropis

2-3 Penurunan tekanan temperatur pada tekanan konstan dan reversible sehingga terjadi pengembunan refrigeran

3-4 Ekspansi non reversible pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator

4-1 Penambahan kalor reversible pada tekanan tetap, sehingga terjadi penguapan menuju uap jenuh.

Temperatur di evaporator direncanakan -16°C dan temperatur pengembunan 22°C , sehingga secara spesifik dari diagram tekanan entalpi refrigeran 22 dapat diperoleh data sebagai berikut :

- Dengan temperatur penguapan -16°C diperoleh tekanan penguapan 284,93 kpa
- Dengan temperatur penguapan 22°C diperoleh tekanan pengembunan 961,89 kpa

4.3.4. Analisis Kondisi Refrigeran Pada Satu Siklus Pendinginan

a. Uap refrigeran masuk ke dalam kompresor (4-1), temperatur uap refrigeran keluar dari evaporator dalam kondisi uap jenuh (i_1) adalah -16°C

- tekanan = 284,93 kPa
- temperatur = -16°C
- entalpi = 399,133 kJ/kg
- volume spesifik = $8,04103 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{kg}$
- entropi = 1,77711 kJ/kg.K

b. Refrigeran keluar dari kompresor dan masuk ke kondensor (i_2)

- tekanan = $961,89 \text{ kg/cm}^2$
- temperatur = 22°C
- entalpi = $412,481 \text{ kJ/kg}$
- volume spesifik = $2,4586 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{kg}$
- entropi = $1,72206 \text{ kJ/kg.K}$

c. Refrigeran keluar kondensor dan masuk katup ekspansi (i_3)

- tekanan = $961,89 \text{ kg/cm}^3$
- temperatur = 22°C
- entalpi = $226,568 \text{ kJ/kg}$
- volume spesifik = $0,82954 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
- entropi = $1,0922 \text{ kJ/kg.K}$

d. Refrigeran keluar katup ekspansi dan masuk evaporator (i_4)

- tekanan = $284,93 \text{ kg/cm}^2$
- temperatur = -16°C
- entalpi = $181,622 \text{ kJ/kg}$
- volume spesifik = $0,74786 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
- entropi = $0,93129 \text{ kJ/kg.K}$

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan data karakteristik siklus refrigerasinya adalah:

- **Efek refrigerasi (q_e)** merupakan kalor yang diserap di dalam evaporator yang besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$q_c = i_1 - i_4$ dimana: i_1 = entalphi refrigeran masuk ke dalam kompresor

i_4 = entalphi refrigeran keluar katup ekspansi

$$= (399,133 - 181,622)$$

$$= 217,511 \text{ kJ/kg}$$

- **Kalor ekuivalen (A/)** dari kerja kompresi 1 kg refrigeran

$A/ = i_2 - i_1$ dimana: i_2 = entalphi refrigeran keluar dari kompresor

dan masuk ke dalam kondensor

$$= (412,481 - 372,931)$$

$$= 39,55 \text{ kJ/kg}$$

- **Kalor yang dilepaskan di dalam kondensor**, dimana dari kesetimbangan energi kalor yang dilepaskan dalam kondensor harus sama dengan jumlah efek refrigerasi (q_c) dan kalor ekuivalen dari kerja yang diberikan kepada refrigeran selama langkah kompresi (A/) sehingga:

$$q_c = i_1 - i_4 \text{ dan } A/ = i_2 - i_1$$

maka:

$$q_c = (i_1 - i_4) + (i_2 - i_1)$$

$$= (i_2 - i_4)$$

$$= (412,481 - 181,622)$$

$$= 230,859 \text{ kJ/kg}$$

- **Jumlah refrigeran** yang bersirkulasi (G) adalah:

$$G = Q / q_e$$

dimana: Q = kapasitas refrigerasi (kJ/h) = 19.511 kJ/h

q_e = efek refrigerasi yang merupakan pengurangan entalpi saat keluar evaporator dengan entalpi saat masuk evaporator (kJ/kg)

Sehingga:

$$\begin{aligned} G &= 19.511 / 217,511 \\ &= 89,7 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

- **Koefisien Prestasi (COP)**

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \text{kapasitas refrigerasi/kalor ekuivalen dari kerja yang diperlukan} \\ &= q_e / A \\ &= 217,511 / 39,55 \\ &= 5,5 \end{aligned}$$

- **Volume uap** yang bersirkulasi atau biasa disebut volume langkah torak:

$$V = G \times v_a$$

dengan:

G = jumlah uap yang bersirkulasi (kg/s)

v_a = volume spesifik refrigeran saat uap refrigeran dihisap masuk oleh

kompresor (titik 1)

Sehingga:

$$\begin{aligned} V &= 89,7 \times 8,0403 \cdot 10^{-2} \\ &= 7,212 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

- **Daya** yang diperlukan kompresor (N)

Dihitung dari diagram Mollier dengan data entalpi seksi masuk dan seksi keluar sehingga:

$$N = \frac{(i_2 - i_1)}{860} \times (V/v)$$

dimana:

N = daya yang diperlukan kompresor (kW)

i = entalpi gas (kJ/kg)

V = volume yang dipindahkan kompresor (m³/s)

v = volume spesifik gas (m³/kg)

V/v = G = gas yang dikompresikan (kg/h)

$$N = \frac{(412,481 - 399,133)}{860} \times (89,7)$$

$$= 1,392 \text{ kW}$$

4.4. Analisis Perhitungan Kondensor

4.4.1. Karakteristik Kondensor

Kondensor merupakan alat penukar panas. Penggolongan kondensor didasarkan pada bagaimana aliran refrigeran apakah ada di dalam atau di luar pipa dan apakah fluida pendinginnya berbentuk gas atau cairan. Kondensor yang lazim digunakan adalah dari jenis shell and tube.

Untuk mencairkan uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, setelah keluar dari kompresor maka diperlukan usaha untuk melepaskan kalor sebanyak kalor laten pengembunan, dengan cara mendinginkan uap refrigeran tersebut. Dalam hal ini perhitungan pelepasan kalor oleh uap refrigeran ke air pendingin atau udara pendingin sama dengan selisih entalpi pada sisi masuk dan sisi keluar kondensor.

4.4.2. Jumlah Air Pendingin

Pada proses pelepasan kalor di dalam kondensor akan sama dengan kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator dan akan sama dengan energi untuk melakukan kerja kompresor. Oleh karena itu, satu sama lain saling berhubungan. Maka data daya dan juga kapasitas refrigerasi akan tetap diperlukan dalam perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kalor pengembunan} &= \text{Kapasitas refrigerasi (kkal/h)} \\ &- (\text{daya kompresor (kW)} \times 860 \text{ kkal/jam}) \end{aligned}$$

$$= 17,9 - 1,392 \text{ (kW)}$$

$$= 16,508 \text{ kW}$$

$$= 14.196,88 \text{ kkal/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air pendingin} &= \frac{\text{Kalor pengembunan}}{1 \text{ kkal/liter} \cdot ^\circ\text{C} \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})} \\ &= \frac{14.196,88}{38,2 - 29,4} \\ &= 1.613,28 \text{ l/jam} \end{aligned}$$

4.4.3. Menentukan Dimensi Peralatan

Data yang mendukung digunakan untuk menghitung luas bidang pendinginan yang diperlukan kondensor untuk memenuhi pengembunan yang dirancang:

$$\text{Luas bidang pengembunan} = \frac{\text{kalor pengembunan}}{\text{koefisien perpindahan panas} \times \text{perbedaan rata-rata suhu antara refrigeran dengan fluida}}$$

Dihitung dulu harga koefisien perpindahan panas total (k)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{l_o}{\lambda_o} + \frac{1}{\lambda} + \frac{l_f}{\lambda_f} + \frac{1}{\lambda_w}}$$

Data yang diperoleh:

temperatur refrigeran masuk 22°C

$$C_p = 0,147 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$\rho = 1.215,9 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0,0105 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$D = 0,525 \text{ m}$$

$$\mu = 0,0000135 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

$$\lambda_r = \left[\frac{0,023 \times 0,0105}{0,0525} \times \left(\frac{2 \times 0,0105 \times 1.215,9}{0,0000135} \right)^{0,8} \times \left(\frac{0,147 \times 0,0000135}{0,0525} \right)^{0,4} \right]$$

$$= 8,226 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

sehingga:

$$1/\lambda_r = 0,12 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

λ_w = koefisien konduktivitas termal lapisan dinding pada sisi air pendingin

data yang ada:

$$C_p = 4,178 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$\rho = 995,64 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0,6194 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$D = 0,060452 \text{ m}$$

$$\mu = 803 \text{ kg/m.s}$$

$$\lambda_w = \left[\frac{0,023 \times 0,6914}{0,060452} \times \left(\frac{2 \times 0,6194 \times 945,64}{803} \right)^{0,8} \times \left(\frac{4,178 \times 803}{0,060452} \right)^{0,4} \right]$$

$$\lambda_w = 25,19 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

sehingga:

$$1/\lambda_w = 0,0397 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Faktor pengotoran (λ_0) = $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Diameter luar = $0,060452 \text{ m}$

Untuk baja mempunyai harga konduktivitas termal (k) = 54 W/m.K

Sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda} &= \frac{(0,060452 - 0,0525) / 2}{46,43} \\ &= 8,563 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{aligned}$$

Tebal lapisan minyak diasumsikan $0,01 \text{ mm}$ dengan harga k lapisan minyak $0,12$

$\text{kkal/m.h.}^\circ\text{C}$

$$l_0 / \lambda_0 = 0,00001 / 0,12 = 8,38 \cdot 10^{-5}$$

$$l_f / \lambda_f = 0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Jadi nilai k :

$$k = \frac{1}{0,12 + 8,563 \cdot 10^{-5} + 8,33 \cdot 10^{-3} + 0,0002 + 0,0397}$$

$$k = 6,2473 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Perbedaan temperatur rata-rata antara refrigeran dengan fluida dapat dicari dengan:

$$\begin{aligned} \Delta_{tm} &= \frac{0,43 \times (\Delta_{t1} - \Delta_{t2})}{\log \frac{\Delta_{t1}}{\Delta_{t2}}} \\ \Delta_{tm} &= \frac{0,43 \times (40 - 29,4)}{\log \frac{40}{29,4}} \\ &= 4,914 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Luas pendinginan dari kondensor dirumuskan dengan:

$$Q = k \times A_0 \times \Delta_{tm}$$

$$A_0 = \frac{Q}{k \cdot \Delta_{tm}} = \frac{18.940}{6,2473 \times 4,914}$$

$$A_0 = 10,91 \text{ m}^2$$

Sehingga panjang dari pipa koil adalah:

$$\begin{aligned} L &= \frac{A}{\pi \times OD} = \frac{10,91}{\pi \times 0,060452} \\ &= 57,4466 \text{ m} \end{aligned}$$

4.5. Analisis Perhitungan Evaporator

4.5.1. Karakteristik Evaporator

Evaporator berfungsi untuk mendinginkan media sekitar (dalam ruangan). Berdasarkan wujud media yang didinginkan evaporator terbagi atas:

1. Evaporator ekspansi kering.

Cairan refrigeran saat masuk ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap sehingga saat keluar dari evaporator dalam keadaan kering. Kelebihan jenis evaporator ini adalah tidak memerlukan refrigeran dalam jumlah besar, akan tetapi perpindahan panas yang terjadi tidak begitu besar dibandingkan bila evaporator terisi refrigeran cair.

2. Evaporator jenis setengah basah.

Evaporator dengan kondisi refrigeran di antara evaporator kering dan basah. Laju perpindahan panas dalam evaporator jenis ini lebih tinggi dibandingkan yang diperoleh pada jenis ekspansi kering tapi lebih rendah dibandingkan tipe basah.

3. Evaporator jenis basah.

Sebagian besar evaporator terisi oleh cairan refrigeran. Proses perpindahan panas terjadi seperti pada ketel uap, dimana refrigeran yang menyerap kalor akan terjadi gelembung-gelembung uap yang sebagian akan pecah pada permukaan cairan atau terlepas dari permukaannya. Selanjutnya

dilakukan pemisahan oleh akumulator untuk memisahkan cairan dengan uap refrigeran.

4.5.2. Analisa Perhitungan Luas Perpindahan Panas pada Evaporator

Data yang diperlukan:

Besar perpindahan panas yang akan diserap oleh uap refrigeran dari ruang fish hold yaitu sebesar 17,9 kW.

1. Direncanakan temperatur refrigeran masuk = 29,4 °C.
2. Temperatur refrigeran keluar = 23,4 °C.
3. Direncanakan ukuran pipa:
 - diameter dalam = 15,80 mm
 - diameter luar = 18,57 mm
 - diameter rata-rata pipa = 17,185 mm
4. Besar koefisien perpindahan panas dengan rumus:

$$\frac{1}{\mu_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{x \times A_0}{k \times A_m} + \frac{A_0}{h_f \times A_i} + \frac{A_0}{h_i \times A_i}$$

dimana:

$$\begin{aligned} A_0 &= \text{luas permukaan luar pipa (m}^2\text{)} \\ &= \pi \cdot 0,01857 \text{ m}^2/\text{m} = 0,0583 \text{ m}^2/\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_i &= \text{luas permukaan dalam pipa (m}^2\text{)} \\ &= \pi \cdot 0,0158 \text{ m}^2/\text{m} = 0,0496 \text{ m}^2/\text{m} \end{aligned}$$

A_m = luas permukaan rata-rata sekeliling pipa (m^2)

$$= \pi \cdot 1,7185 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{m} = 5,34 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{m}$$

x = tebal pipa = $2,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

k = daya hantar panas pipa (baja) = $54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$1/h_f$ = faktor pengotoran = $0,0000176 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

h_o = koefisien perpindahan panas konveksi dari luar pipa

$$= 3,2 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F} = 18,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$$

Untuk perhitungan harga koefisien perpindahan panas secara konveksi dalam pipa evaporator maka terlebih dahulu harus kita ketahui data-data sebagai berikut:

- Bilangan Reynolds (Re) = $V \times D / \nu$
- Bilangan Prandtl (Pr) = $C_p \times \mu / k$

dimana:

$$\nu = \text{kecepatan aliran} = W \times V_{sp} / A$$

$$W = \text{laju aliran massa refrigeran} = 0,025 \text{ kg/s}$$

$$V_{sp} = \text{volume spesifik refrigeran}$$

$$h_{fg} = (1 - x) \cdot h_f + x \cdot h_g$$

$$x = h_{fg} - h_f / h_g - h_f$$

$$= 109,746 - 165,0604 / 392,69 - 165,0604$$

$$= 0,10845$$

$$V_{sp} = (1 - x) \cdot V_{spf} + x \cdot V_{spg}$$

$$= (1 - 0,10845) \cdot 0,722976 + 0,10845 \cdot 141,9552$$

$$= 16,04 \text{ l/kg} = 0,01604 \text{ m}^3/\text{kg}$$

A = luas diameter dalam pipa

$$= \pi / 4 \cdot (0,0158)^2 = 0,0001961 \text{ m}^2$$

Sehingga kecepatan aliran di dalam evaporator adalah:

$$v = \frac{0,025 \times 0,01604}{1,96 \cdot 10^{-3}}$$

$$v = 0,33 \text{ m/s}$$

μ = viskositas refrigeran

$$= [(1 - x) \cdot \mu_f + (x \cdot \mu_g)]$$

$$= [(1 - 0,10845) \cdot 0,000325 + (0,10845 \cdot 0,0000135)]$$

$$= 6,89 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\rho = \text{rapat massa refrigeran} = 62,34 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \text{viskositas kinematis refrigeran} = 4,652 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

C_p = spesifik heat refrigeran

$$= [(1 - x) \cdot C_{pf} + (x \cdot C_{pg})]$$

$$= [(1 - 0,10845) \cdot 0,26 + 0,10845 \cdot 0,145]$$

$$= 0,2475 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$= 1036,26 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

k = konduktivitas refrigeran

$$\begin{aligned}
 &= [(1 - x) \cdot k_f + (x \cdot k_g)] \\
 &= [(1 - 0,10845) \cdot 0,057 + (0,10845 \cdot 0,0048)] \\
 &= 0,051 \text{ Btu/hr ft}^2 \\
 &= 8,83 \cdot 10^{-2} \text{ W/m.K}
 \end{aligned}$$

Sehingga Bilangan Reynolds (Re)

$$\begin{aligned}
 \text{Re} &= \frac{1292,19 \times 0,326 \times 0,0158}{7,31 \cdot 10^{-5}} = 91050,78 \\
 &= 91.050,78
 \end{aligned}$$

Bilangan Prandtl (Pr)

$$\begin{aligned}
 \text{Pr} &= \frac{1036,26 \times 6,89 \cdot 10^{-5}}{0,0883} \\
 &= 4,16 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Harga koefisien perpindahan panas konveksi dalam pipa (h_i)

$$\begin{aligned}
 h_i &= \frac{0,023 \times k / D}{\text{Re}^{0,8} \times \text{Pr}^{0,4}} \\
 &= \frac{0,023 \times 0,0298 / 0,0158}{(91050,78)^{0,8} \times (4,16 \cdot 10^{-4})^{0,4}} \\
 &= 17,88 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas total evaporator:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{U_0} &= \frac{1}{h_0} + \frac{x \times A_0}{k \times A_m} + \frac{A_0}{h_f \times A_i} + \frac{A_0}{h_i \times A_i} \\
 &= 1/18,17 + 0,00277 \times 0,0583 / 54 \times 0,0534 + 0,0583 \times 1,76 \cdot 10^{-4} / 0,049 \\
 &\quad + 0,0583 / 17,88 \times 0,049 \\
 &= 0,1229 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\
 U_0 &= 8,137 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat dihitung luasan perpindahan panas dari evaporator:

$$\begin{aligned}
 Q &= U_0 \cdot A \cdot \Delta t \\
 A &= Q / U_0 \cdot \Delta t \\
 &= 17.900 / 8,137 \cdot 6 \\
 A &= 366,64 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Panjang pipa koil yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{A}{\pi \times D} = \frac{366,64}{\pi \times 18,57 \cdot 10^{-2}} \\
 &= 628,46 \text{ m}
 \end{aligned}$$



BAB V

ASPEK EKONOMIS DALAM PERENCANAAN KAPAL

BAB V

ASPEK EKONOMIS DALAM PERENCANAAN KAPAL

Beberapa aspek ekonomis yang menjadi bahan pertimbangan adalah:

- Biaya produksi, yaitu perencanaan dan pembuatan
- Daya mesin yang dibutuhkan, berkaitan dengan jumlah pemakaian bahan bakar
- Kapasitas muat yang berkaitan dengan jumlah muatan yang diangkut
- Peralatan bongkar muat, berkaitan dengan biaya bongkar muat di pelabuhan
- Jumlah anak buah kapal, hal ini berkaitan dengan biaya operasi kapal
- Daya tarik (attractive), berlaku untuk kapal penumpang, berkaitan dengan minat pemakai/pengguna jasa kapal

Untuk kapal ikan yang dianalisis ini maka aspek ekonomis yang berhubungan adalah bobot mati kapal (DWT = death weight tonnage) dan berat kosong kapal (LWT = light weight tonnage)

Yang termasuk DWT adalah :

1. berat bahan bakar
2. berat minyak pelumas
3. berat air tawar
4. berat bahan makanan

5. berat anak buah kapal beserta barang bawaannya
6. berat muatan yang dibayar (pay load), ini sangat menentukan besar penghasilan yang dapat diperoleh dari pengoperasian kapal. Sehingga, untuk memperoleh kapal yang ekonomis diperlukan pay load yang besar.

5.1. Metode Average Annual Benefit (AAB)

5.1.1. Nilai Waktu Dari Uang

Nilai waktu dari uang adalah suatu hadiah pengembalian yang sering dinamakan bunga (interest) sebagai imbalan dari penundaan kepuasan kebutuhan atau kesenangan yang bisa kita dapatkan apabila uang tersebut kita investasikan. Bunga biasanya merupakan prosentase dari jumlah uang yang diinvestasikan atau dipinjamkan setiap tahun (interest rate).

Bunga dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Bunga berdasarkan kontrak (contracted interest), yaitu bunga yang terdapat dalam kontrak sebagai kesepakatan bersama seperti bunga deposito berjangka, pinjaman bank dan tabungan.
2. Bunga terselubung, yaitu bunga yang seharusnya ada tetapi tidak diperoleh karena modal atau dana yang ada hanya disimpan sendiri dan tidak diinvestasikan.
3. Bunga investasi, yaitu bunga yang diberikan untuk mengurangi resiko sebagai akibat adanya investasi modal oleh suatu perusahaan.

4.1.2. Nilai Saat Ini (Present Worth)

Nilai saat ini adalah nilai pada waktu ini dari sejumlah uang di masa yang akan datang dengan memperhitungkan suku bunga dan lain-lain. Sebagai contoh; uang Rp 100,00 sekarang dengan suku bunga 5% pertahun akan menjadi Rp 105,00 setahun yang akan datang dan sebaliknya, uang Rp 100,00 setahun yang akan datang pada saat ini nilainya adalah Rp 95,00.

4.1.3. Peranan Suku Bunga

Peranan suku bunga adalah memperkirakan jumlah uang pada suatu waktu tertentu untuk diekuivalenkan dengan sejumlah uang pada suatu waktu atau periode tertentu.

Suku bunga dapat diatur dengan cara sederhana (simple interest) maupun dengan cara campuran (compound interest). Dengan suku bunga sederhana, uang yang dipinjam akan dibayarkan pada akhir waktu dari hutang-hutang dan biasanya merupakan prosentase dari jumlah uang permulaan. Dengan suku bunga campuran, selain memperhitungkan suku bunga tiap tahun juga memperhitungkan berapa kali uang sewa harus ditambahkan pada uang semula sehingga uang sewa akan bertambah secara deret hitung.

Dalam tekno ekonomi, suku bunga yang digunakan adalah suku bunga campuran untuk tiap tahun (annual average benefit).

4.1.4. *Umur Ekonomis (Life Time)*

Umur ekonomis kapal dapat dihitung dengan 2 (dua) metode yaitu Average Annual Benefit (AAB) dan metode program dinamik (Dynamic Programming Methode). Keuntungan penggunaan AAB adalah, walaupun banyak, proses perhitungan adalah perhitungan berulang dan simultan yang cukup sederhana. Dengan metode ini akan diperoleh panjang umur ekonomis suatu proyek yang akan memberikan keuntungan paling besar dalam bentuk keuntungan tahunan rata-rata (average annual benefit) yang diperoleh dengan mengalikan NPV (net present value) dengan CR (capital recovery factor) yang sesuai:

$$AAB = NPV (CR - i - N)$$

Beberapa faktor yang menentukan dalam perhitungan dengan metode ini adalah:

1. Modal investasi, yaitu jumlah biaya yang digunakan untuk membangun atau membeli kapal yang akan ditinjau umur ekonomisnya.
2. Biaya operasional, yaitu jumlah biaya yang dikeluarkan atau dibutuhkan untuk mengoperasikan kapal selama satu tahun, biaya ini diasumsikan konstan untuk satu tahun.
3. Tingkat suku bunga, yaitu besarnya bunga yang sedang berlaku dalam pelayanan kredit oleh bank dengan menganggap modal investasi merupakan pinjaman kredit.

Langkah-langkah perhitungan umur ekonomis kapal dengan metode AAB adalah sebagai berikut:

1. Menghitung besar penghasilan/pendapatan awal dari pengoperasian kapal.
2. Menghitung cash flow dari tahun ke tahun untuk periode waktu tertentu.
3. Menghitung besar harga net present value dan average annual benefit.
4. Mengulang langkah 1-3 untuk tingkat harga R_0 yang berbeda (jika diperlukan).
5. Membuat kurva AAB dan mencari titik tertingginya yang mempunyai harga $tg = 0$.
6. Menentukan umur ekonomis maksimal dengan memproyeksikan titik tertinggi kurva pada absis yang merupakan fungsi tahun pengoperasian kapal.

Untuk mempermudah cara penghitungannya, berikut ini disajikan tabel untuk menentukan Average Annual Benefit:

Tabel 5.1 Perhitungan Average Annual Benefit

No	Notasi	Rumus	Satuan	Tahun operasi ke				
				1	2	3		N
1	N		Rupiah					
2	w	$0,005 (1)^2 (R_0)$	Rupiah					
3	x	$0,005 (1) (R_0)$	Rupiah					
4	y	$0,005 (1) (Y_0)$	Rupiah					
5	z	$0,025 (1)^{0,5} (Y_0)$	Rupiah					
6	v	$(w) + (z)$	Rupiah					
7	$R_0 - (x + v)$	$R_0 - ((3) + (6))$	Rupiah					
8	$Y_0 + y$	$Y_0 + 4$	Rupiah					
9	A (cash flow)	$(7) - (8)$	Rupiah					
10	PW	$\frac{1}{(1,0 + (i))^{(1)}}$	Rupiah					
11	PWAN	$(10) \times (9)$	Rupiah					
12	CPWAN	$(12)_{N-1} + (11)$	Rupiah					
13	L_N	$0,85 L_{N-1}$	Rupiah					
14	PWL_N	$(10) \times (13)$	Rupiah					
15	NPV	$(12) + (14) - P$	Rupiah					
16	CR	$\frac{i (1,0 + (i))^{(1)}}{(1,0 + (i))^{(1)}}$	Rupiah					
17	AAB	$(15) \times (16)$	Rupiah					

keterangan:

N	= tahun operasi
P	= modal investasi awal kapal
R_0	= pendapatan setahun pada tahun awal
Y_0	= biaya operasi setahun pada tahun awal
I	= suku bunga bank yang berlaku
w	= faktor pengurangan karena teknologi usang
x	= faktor pengurangan karena kondisi kapal
y	= faktor pengurangan karena pengaruh inflasi
z	= faktor pengurangan karena perbaikan-perbaikan
v	= faktor pengurangan karena future freight rate
A	= penerimaan sebelum kena pajak tiap tahun
PW	= present worth factor untuk pembayaran tunggal
$PWAN$	= present worth factor of A
$CPWAN$	= cumulative present worth factor of A
L_N	= harga jual kapal di akhir tahun
PWL_N	= present worth factor of L
NPV	= net present value
CR	= capital recovery factor
AAB	= average annual benefit

5.2. Perhitungan Berat Muatan

Displacement terdiri dari dua komponen utama yaitu DWT (death weight tonnage) dan LWT (light weight tonnage).

DWT terdiri dari:

1. Berat bahan bakar mesin induk
2. Berat bahan bakar mesin bantu
3. Berat minyak pelumas dan minyak silinder
4. Berat air tawar
5. Berat air pendingin mesin
6. Berat bahan makanan
7. Berat anak buah kapal beserta barang bawaannya
8. Muatan bersih (pay load)

Diketahui DWT kapal adalah = 60 Gross Tonnage

Perhitungan berat lainnya dihitung menurut rumus Herald Poehls sebagai berikut:

1. Berat bahan bakar mesin induk

$$W_{fo} = P_{BME} \times b_{me} \times \frac{S}{V_d} \cdot 10^{-6} \times (1,5)$$

dimana:

$$P_{BME} = \text{daya mesin induk dalam kW} = (240 \text{ HP} \times 746 \text{ W}) \times 10^{-3}$$

$$= 179,04 \text{ kW}$$

b_{mc} = koefisien pemakaian bahan bakar dalam g/kWh = 209 g/kWh

S = jarak pelayaran dalam mil laut = 3.000 mil

V_d = kecepatan dinas dalam knot = 9 knot

10^{-6} = faktor pengali dari gram ke ton

1,5 = faktor cadangan, diambil harga terbesar dari 1,3 - 1,5

faktor cadangan ini diperhitungkan untuk: sisa bahan bakar dalam tangki, keadaan laut, keadaan angin, waktu tunggu di pelabuhan

$$W_{fo} = 179,04 \times 209 \times \frac{3.000}{9} \cdot 10^{-6} \times (1,5)$$

$$= 18,7 \text{ ton}$$

2. Berat bahan bakar mesin bantu:

Berat bahan bakar mesin bantu adalah 0,1 - 0,2 dari berat bahan bakar mesin induk

$$W_{do} = 0,2 \times W_{fo} \text{ (ton)}$$

$$= 0,2 \times 18,7$$

$$= 3,74 \text{ ton}$$

3. Berat minyak pelumas

Kebutuhan minyak pelumas untuk setiap pelayaran diambil 4% dari berat bahan bakar mesin induk dan mesin bantu, harga ini adalah maksimum dari ketentuan 2% - 4%.

$$\begin{aligned} W_{lo} &= 0,04 \times (W_{fo} + W_{do}) \\ &= 0,04 \times (18,7 + 3,74) \\ &= 0,8976 \text{ ton dibulatkan } 0,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

4 Berat air tawar

Untuk mandi, cuci dan minum dibutuhkan:

$$W_{fw} = Z_o \times (P_{dw} + P_{ww}) \times 10^{-3}$$

dimana:

$$\begin{aligned} Z_o &= \text{jumlah anak buah kapal} &= 11 \text{ orang} \\ P_{dw} &= \text{pemakaian air minum} &= 20 \text{ kg/orang/hari} \\ P_{ww} &= \text{pemakaian untuk mandi dan cuci} &= 200 \text{ kg/orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{fw} &= 11 \times (20 + 200) \times 10^{-3} \\ &= 2,42 \text{ ton} \end{aligned}$$

5. Berat air pendingin mesin

Kebutuhan air pendingin mesin pendingin mesin diambil 5 kg/HP, harga terbesar dari (2 - 5) kg/HP. Sehingga untuk mesin ini kebutuhan air pendinginnya adalah:

$$\begin{aligned} W_{cw} &= 5 \times 240 \times 10^{-3} \\ &= 1,2 \text{ ton} \end{aligned}$$

6. Berat bahan makanan

$$W_p = Z_c \times \frac{S}{I_d \times 24} \times P_p \times 10^{-3}$$

dimana: P_p = kebutuhan makan = 5 kg/orang/hari

$$\begin{aligned} W_p &= 11 \times \frac{3\,000}{9 \times 24} \times 5 \times 10^{-3} \\ &= 0,763 \text{ ton} \end{aligned}$$

7. Berat anak buah kapal beserta barang bawaannya

$$W_{c-1} = Z_c \times (P_c + P_l) \times 10^{-3}$$

dimana:

P_c = berat anak buah kapal = 75 kg/orang

P_l = berat barang bawaan = 60 kg/orang

maka:

$$\begin{aligned} W_{c-1} &= 11 \times (75 + 60) \times 10^{-3} \\ &= 1,485 \text{ ton} \end{aligned}$$

5.3. Perhitungan Waktu Operasi Kapal

Waktu operasi kapal dibedakan atas tiga komponen yaitu:

- a. Waktu berlayar (t_{sea}) adalah waktu yang dibutuhkan untuk melayari jarak antara pelabuhan ke fishing ground lalu kembali ke pelabuhan dengan kecepatan dinas. Jarak yang ditempuh ini adalah 3.000 mil dengan kecepatan dinas kapal 9 knot, maka:

$$\begin{aligned} t_{sea} &= S / V_d \\ &= 3.000 / 9 \\ &= 333,33 \text{ jam} \end{aligned}$$

- b. Waktu tunggu ($t_{waiting}$) adalah waktu yang dibutuhkan sebelum kapal merapat ke dermaga untuk bongkar muat. Untuk kapal ikan ini tidak mengalami waktu tunggu mengingat kualitas kesegaran ikan tangkapan yang harus secepatnya ditangani setelah penangkapan.
- c. Waktu bongkar muat adalah waktu yang dibutuhkan untuk membongkar ikan hasil tangkapan dari kapal. Dari survei diperoleh bahwa waktu bongkar ikan yaitu: 1 hari (24 jam).

5.4. Biaya Investasi

Yang dimaksud dengan biaya investasi adalah jumlah biaya yang dibutuhkan untuk membangun atau membeli sebuah kapal. Berdasarkan informasi dari galangan

pembuat kapal (PT. PAL Indonesia) harga sebuah kapal ikan tuna segar long liner 60 GT adalah Rp 1.500.000.000,00.

Untuk pemasangan peralatan pendingin pada kapal diperlukan biaya tambahan sebesar Rp 150.000.000,00 sehingga untuk kapal yang telah dimodifikasi harganya adalah

$$\begin{aligned} &= \text{harga kapal} + \text{biaya pemasangan peralatan} \\ &= \text{Rp } 1.500.000,00 + \text{Rp } 150.000.000,00 \\ &= \text{Rp } 1.650.000.000,00 \end{aligned}$$

5.5. Penghasilan Operasi

5.5.1. Jumlah Round Trip per Tahun

Waktu operasi kapal maksimum selama 1 tahun (Ship Design Economics, Ir. Setijo Prajudo, M.SE) adalah 340 - 345 hari. Maka jumlah pelayaran maksimum pergi pulang selama satu tahun (round trip per annum) adalah:

$$\text{RTPA} = \frac{\text{hari operasi per tahun}}{\text{hari operasi per round trip}} = \frac{340}{14} = 24,2 \text{ kali}$$

Akan tetapi untuk kapal ikan ini waktu pelayaran selama setahun hanya 19 kali hari operasi per round trip (14 hari). Sehingga, jumlah waktu pelayaran selama setahun = $19 \times 14 = 266$ hari

5.5.2. Kapasitas Muat per Tahun

Jumlah muatan maksimum ikan yang bisa diangkut setiap pelayaran sebesar = 8 ton, dimana kapasitas muat ini untuk kapal ikan dengan pendingin es masih ditambah muatan es seberat = 15 ton, sehingga:

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas muat per tahun} &= \text{round trip per tahun} \times \text{jumlah muatan per trip} \\ &= 19 \times 8 \text{ ton} \\ &= 152 \text{ ton}\end{aligned}$$

5.5.3. Penghasilan Operasi per Tahun

Harga ikan tuna segar per kg = US \$ 3 / kg

Total harga untuk satu kali tangkapan untuk kapasitas maksimum

$$\begin{aligned}&= \text{US \$ } 3 / \text{ kg} \times 8.000 \text{ kg} \\ &= \text{US \$ } 24.000 \\ &\quad (\text{penghasilan kotor per round trip})\end{aligned}$$

Total harga untuk satu tahun = 19 x US \$ 24.000

$$\begin{aligned}&= \text{US \$ } 456.000 \\ &= 456.000 \times \text{Rp } 2.300,00 \\ &= \text{Rp } 1.048.800.000,00 \\ &\quad (\text{penghasilan kotor per tahun})\end{aligned}$$

Untuk kapal yang telah dimodifikasi, karena ada pengurangan muatan berupa es sebesar 15 ton maka diperkirakan berat ikan yang dapat ditangkap mengalami

kenaikan sebesar 10 ton, sehingga diperlukan sejumlah umpan tambahan dan dengan mengubah sebagian ruang muat nomor 2 menjadi bait hold untuk tempat umpan serta menambah frekuensi pemancingan (setting). Sehingga, total berat ikan yang bisa diangkut adalah $= 8 + 10 = 18$ ton. Maka:

Total harga untuk satu kali tangkapan untuk kapasitas maksimum

$$= \text{US \$ } 3 / \text{kg} \times 18.000 \text{ kg}$$

$$= \text{US \$ } 54.000$$

(penghasilan kotor per round trip)

Total harga untuk satu tahun $= 19 \times \text{US \$ } 54.000$

$$= \text{US \$ } 1.026.000$$

$$= 1.026.000 \times \text{Rp } 2.300,00$$

$$= \text{Rp } 2.359.800.000,00$$

(penghasilan kotor per tahun)

5.5.4. Biaya Operasi

Yang dimaksud biaya operasi adalah biaya yang harus dikeluarkan sehubungan dengan pengoperasian kapal.

Yang termasuk di dalamnya adalah: biaya ABK, biaya pemeliharaan dan reparasi, biaya bahan bakar dan sebagainya.

5.5.4.1. Biaya Anak Buah Kapal

Merupakan elemen biaya tetap yaitu biaya yang harus dikeluarkan sehubungan dengan bekerjanya manusia dalam sebuah kapal. Biaya ini meliputi biaya makan, gaji dan tunjangan. Dalam hal ini dibedakan atas total gaji dan biaya makan, dimana total gaji terdiri dari gaji pokok, gaji lembur (fix overtime), tunjangan layar, kesehatan dan keluarga.

Untuk 11 anak buah kapal adalah:

- a. Biaya makan per orang per hari = Rp 5.000,00

$$\text{Biaya makan selama satu hari} = 11 \times \text{Rp } 5.000,00 = \text{Rp } 55.000,00$$

$$\text{Biaya makan selama satu bulan} = 30 \times \text{Rp } 55.000,00 = \text{Rp } 1.650.000,00$$

$$\text{Biaya makan selama satu tahun} = 12 \times \text{Rp } 1.650.000,00 = \text{Rp } 19.800.000,00$$

- b. Gaji

Gaji tetap per bulan:

- Kapten : Rp 600.000,00
- Mualim : Rp 400.000,00
- Kepala Kamar Mesin : Rp 400.000,00
- ABK @ Rp 200.000,00 x 8 : Rp 1.600.000,00

$$\text{Total} : \text{Rp } 3.000.000,00 / \text{bulan}$$

$$: \text{Rp } 36.000.000,00 / \text{tahun}$$

Tunjangan tetap per bulan:

Tunjangan keluarga dan uang premi yang besarnya 20% tiap crew

$$\begin{aligned} 20\% \times \text{Rp } 3.000.000,00 &= \text{Rp } 600.000,00 / \text{bulan} \\ &= \text{Rp } 7.200.000,00 / \text{tahun} \end{aligned}$$

Jumlah total biaya akomodasi anak buah kapal per tahun:

$$\begin{aligned} &= (\text{biaya makan} + \text{gaji} + \text{tunjangan}) \\ &= (\text{Rp } 19.800.000,00 + \text{Rp } 36.000.000,00 + \text{Rp } 7.200.000,00) \\ &= \text{Rp } 63.000.000,00 \end{aligned}$$

5.5.4.2. Biaya Pemeliharaan dan Reparasi

Merupakan elemen biaya yang harus dikeluarkan sehubungan dengan aspek-aspek keselamatan pelayaran pada umumnya dan keselamatan kapal pada khususnya. Hal ini berhubungan dengan dimensi laik laut yang dimiliki oleh sebuah kapal seperti konstruksi kapal, stabilitas kapal, lambung timbul, perlengkapan dan sebagainya.

Besar biaya ini dapat dihitung dengan rumus pendekatan dari Harry Benford (Ship Economics and Design).

Dibedakan atas biaya pemeliharaan dan reparasi tahunan untuk:

$$\begin{aligned} \text{a. Hull} &= \text{US \$ } 10.000 (\text{CN}/1.000)^{2/3} \text{ dimana, CN = cubic number} = L \times B \times D \\ &= 18,45 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \\ &= 211,068 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Biaya satu tahun} = \text{US \$ } 10.000 \times (\text{CN} / 1.000)^{2/3}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{US \$ } 10.000 \times (211,068 / 1.000)^{2,3} \\
 &= \text{US \$ } 3.544,98 \text{ dibulatkan US \$ } 3.550 \\
 &= \text{US \$ } 3.550 \times \text{Rp } 2.300,00 / \text{US \$ } 1 \\
 &= \text{Rp } 8.165.000,00
 \end{aligned}$$

b Permesinan = US \$ 4.800 (SHP_N / 1.000)^{2,3} dimana

SHP_N = shaft horse power atau max power / 1,1

$$\text{SHP}_N = 240 / 1,1 = 218,18$$

biaya satu tahun

$$\begin{aligned}
 &= \text{US \$ } 4.800 \times (218,18 / 1.000)^{2,3} \\
 &= \text{US \$ } 1.739,61 \text{ dibulatkan US \$ } 1.740 \\
 &= \text{US \$ } 1.740 \times \text{Rp } 2.300,00 / \text{US \$ } 1 \\
 &= \text{Rp } 4.002.000,00
 \end{aligned}$$

5.5.4.3. Biaya Asuransi

Merupakan biaya yang dikeluarkan sehubungan dengan resiko pelayaran yang dilimpahkan pada perusahaan asuransi dan dibayarkan dalam bentuk premi asuransi. Resiko tersebut umumnya dapat dibedakan atas kerugian akibat kerusakan yang ditimbulkan oleh kecelakaan, gangguan, cuaca, kebakaran dan tenggelam.

Besar biaya asuransi ini menurut Harry Benford dibedakan atas:

a Protection and indemnity insurance

$$\text{P \& I insurance} = \text{US \$ } 965 \text{ (Nc)}$$

Dimana N_c = jumlah anak buah kapal = 11 orang

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya tahunan P \& I insurance} &= \text{US \$ } 965 \times (11) \\
 &= \text{US \$ } 1,0615 \\
 &= \text{US \$ } 1,0615 \times \text{Rp } 2.300,00 / \text{US \$ } 1 \\
 &= \text{Rp } 24.414.500,00
 \end{aligned}$$

b. Hull and Machinery Insurance

$$\text{H \& M Insurance} = \text{US \$ } 10.000 + 0,7\% P$$

dimana P = biaya investasi = Rp 500.000.000,00 = US \$ 217.392

$$\begin{aligned}
 \text{H \& M Insurance} &= \text{US \$ } 10.000 + (0,007 \times 217.392) \\
 &= \text{US \$ } 11.522 \\
 &= \text{US \$ } 11.522 \times \text{Rp } 2.300,00 / \text{US \$ } 1 \\
 &= \text{Rp } 26.500.600,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total biaya asuransi setahun} &= \text{Rp } 24.414.500,00 + \text{Rp } 26.500.600,00 \\
 &= \text{Rp } 50.915.100,00 \text{ dibulatkan } \text{Rp } 50.916.000,00
 \end{aligned}$$

5.5.4.4. Biaya Bahan Bakar

Merupakan biaya yang harus dikeluarkan sehubungan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan selama pengoperasian kapal. Biaya ini tergantung pada ukuran dan tipe mesin penggerak serta dipengaruhi oleh lama waktu pelayaran (sailing days). Biaya ini juga meliputi kebutuhan pemakaian mesin bantu selama waktu tambat (port days) dan untuk memenuhi kebutuhan penerangan, pompa, pendingin dan lain-lain.

Biaya bahan bakar diperoleh dari rumus menurut Herald Poehls (Lectures on Ship Design and Ship Theory):

a. Bahan Bakar Mesin Induk

Kebutuhan bahan bakar mesin induk untuk tiap round trip hasil perhitungan sebelumnya = 18,7 ton/round trip, dan jumlah pelayaran = 19 round trip per tahun, maka:

Kebutuhan selama satu tahun = $19 \times 18,7 = 355,3$ ton

Berat jenis minyak diesel DO = $0,87 \text{ ton/m}^3$

Volume 1 ton = $(1 \text{ ton}) / (0,87 \text{ ton/m}^3) \times 1.000 \text{ l/m}^3$
 $= 1.149,42 \text{ l}$

Harga minyak diesel tahun 1997 = Rp 385,00 / liter

Harga 1 ton = $1.149,42 \text{ l} \times \text{Rp } 385,00 / \text{liter}$
 $= \text{Rp } 442.528,7356$ dibulatkan Rp 442.530,00

Biaya bahan bakar mesin induk selama 1 tahun adalah:

$= 355,3 \text{ ton} \times \text{Rp } 442.530,00 / \text{ton}$
 $= \text{Rp } 157.230.910,00$

b. Bahan Bakar Mesin Bantu

Kebutuhan bahan bakar mesin bantu untuk tiap round trip hasil perhitungan sebelumnya = 3,74 ton/round trip dan jumlah pelayaran = 19 round trip/tahun maka:

Kebutuhan bahan bakar dalam setahun = $3,74 \times 19$

$$= 71,06 \text{ ton}$$

Berat jenis minyak diesel DO = $0,87 \text{ ton/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 ton} &= (1 \text{ ton}) / (0,87 \text{ ton/m}^3) \times 1.000 \text{ l/m}^3 \\ &= 1.149,42 \text{ l} \end{aligned}$$

Harga minyak diesel tahun 1997 = Rp 385,00 / liter

$$\begin{aligned} \text{Harga 1 ton} &= 1.149,42 \text{ l} \times \text{Rp } 385,00/\text{liter} \\ &= \text{Rp } 442.530,00 \end{aligned}$$

Biaya bahan bakar mesin bantu selama 1 tahun adalah:

$$\begin{aligned} &= 71,06 \text{ ton} \times \text{Rp } 442.530,00 / \text{ton} \\ &= \text{Rp } 31.446.182,00 \end{aligned}$$

Jumlah total biaya bahan bakar mesin induk dan mesin bantu selama 1 tahun adalah:

$$\begin{aligned} &= \text{Rp } 157.230.910,00 + \text{Rp } 31.446.182,00 \\ &= \text{Rp } 188.677.092,00 \text{ dibulatkan } \text{Rp } 188.677.100,00 \end{aligned}$$

5.5.4.5. Biaya Minyak Pelumas

Total kebutuhan minyak pelumas per round trip dari hasil perhitungan sebelumnya adalah 0,9 ton.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah pemakaian selama 1 tahun} &= \text{jumlah round trip} \times \text{jumlah pemakaian} \\ &= 19 \times 0,9 = 17,1 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berat jenis minyak pelumas = $0,92 \text{ ton/m}^3$

$$\begin{aligned}\text{Volume 1 ton} &= (1 \text{ ton} / 0,92 \text{ ton/m}^3) \times 1.000 \text{ liter/m}^3 \\ &= 1.086,96 \text{ liter}\end{aligned}$$

Harga minyak pelumas Mesran 40 = Rp 4.000,00/liter

$$\begin{aligned}\text{Harga 1 ton} &= \text{Rp } 4.000,00/\text{liter} \times 1.086,96 \text{ liter} \\ &= \text{Rp } 4.347.830,00\end{aligned}$$

Harga selama 1 tahun

$$\begin{aligned}&= \text{Rp } 4.347.830,00 / \text{ton} \times 17,1 \text{ ton} \\ &= \text{Rp } 74.347.893,00 \text{ dibulatkan } \text{Rp } 74.347.900,00\end{aligned}$$

5.5.4.6. Biaya Air Tawar

Dari perhitungan sebelumnya diperoleh kebutuhan air tawar untuk minum, masak dan mandi setiap round trip = 2,42 ton. Sedangkan air tawar untuk pendingin mesin per round trip = 1,2 ton. Sehingga total kebutuhan air tawar per round trip adalah $(2,42 + 1,2) = 3,62$ ton. Maka untuk 19 kali round trip selama setahun diperlukan $= 19 \times 3,62 = 68,78$ ton.

Harga 1 m³ air = Rp 5.500,00

Biaya air tawar selama satu tahun adalah

$$\begin{aligned}&= 68,78 \text{ ton} \times 1 \text{ m}^3/\text{ton} \times \text{Rp } 5.500,00 / \text{m}^3 \\ &= \text{Rp } 378.290,00\end{aligned}$$

5.5.4.7. Biaya Pengadaan Media Pendingin

Untuk kapal dengan pendingin es, setiap kali pelayaran memerlukan 15 ton es.

Sehingga, untuk satu tahun memerlukan es sebanyak $= 19 \times 15 \text{ ton} = 285 \text{ ton}$.

Harga 1 ton es = Rp 8.000,00

Harga total es selama satu tahun $= 285 \times \text{Rp } 8.000,00 = \text{Rp } 2.280.000,00$

Untuk kapal dengan sistem pendingin mekanis hampir tidak memerlukan tambahan biaya untuk memperbaharui refrigeran yang digunakan. Biaya pembelian refrigeran sudah termasuk dalam harga peralatan pendingin.

5.5.4.8. Biaya Administrasi dan Lain-lain

Yang dimaksud dengan biaya administrasi dan lain-lain adalah biaya yang harus disediakan untuk kegiatan administrasi, telepon dan telegraph, transportasi anak buah kapal, laundry dan biaya tak terduga lainnya.

Jumlah biaya ini menurut Harry Benford selama 1 tahun diperkirakan:

$$= \text{US \$ } 65.000 + C (\text{CN})$$

$$\text{dimana } C = \text{US \$ } 2 \text{ dan CN} = \text{cubic number} = 211,068 \text{ m}^3$$

$$= 65.000 + 2 \times 211,068$$

$$= \text{US \$ } 65.423$$

$$= \text{US \$ } 65.423 \times \text{Rp } 2.300,00 / \text{US \$ } 1$$

$$= \text{Rp } 150.472.900,00$$

5.5.4.9. Biaya Umpan

Umpan yang dipakai untuk menangkap tuna adalah ikan bandeng (untuk 10 kg bandeng berjumlah lebih kurang 75 ekor), dimana untuk setiap setting (pemancingan) dibutuhkan kurang lebih 1.000 ekor ikan. Untuk memperoleh hasil tangkapan maksimal yaitu 8 ton ikan (berat rata-rata satu ekor tuna yang ditangkap 25 kg) maka setiap satu kali round trip dilakukan 11 setting (pemancingan). Dari data ini diperkirakan pada setiap setting akan diperoleh ikan sebanyak:

- hasil tiap setting = $8.000 / 11$
 $= 727,27 \text{ kg}$
- jumlah yang termakan = $727,27 / 25 \text{ kg/ekor}$
 $= 29 \text{ ekor}$

Ditentukan pada kondisi yang sempurna dimana tidak ada ikan yang lepas. Ikan bandeng adalah ikan yang kuat, artinya umpan yang tidak termakan masih dapat digunakan untuk satu kali setting pada operasi berikutnya. Dengan kondisi bahwa ikan yang rusak adalah 20% dari yang tidak termakan

- sisa = $1.000 - 29$
 $= 971 \text{ ekor}$
- rusak = $20\% \times 971$
 $= 194,2 \text{ ekor}$

Maka ikan yang masih dapat dipakai ulang adalah:

$$= 971 - 194,2 = 776,8 \text{ ekor atau } 776 \text{ ekor}$$

Maka untuk hari berikutnya hanya diperlukan tambahan ikan baru sejumlah:

- ikan baru = $1.000 - 776 = 224$ ekor
- = $224 / 75 \times 10$ kg
- = 30 kg

Berarti dalam dua kali setting rata-rata diperlukan

$$= 1.000 + 225 = 1.225 \text{ ekor}$$

$$\text{satu kali round trip} = 5 \times 1.225 + 1.000 = 7.125 \text{ ekor}$$

$$\text{atau} = 7.125 / 75 \times 10 \text{ kg} = 950 \text{ kg}$$

Berarti biaya untuk umpan satu kali round trip

$$= 950 \times \text{Rp } 3.000,00$$

$$= \text{Rp } 2.850.000,00$$

Jadi biaya untuk satu tahun adalah:

$$= \text{Rp } 2.850.000,00 \times 19$$

$$= \text{Rp } 54.150.000,00$$

Untuk kapal yang telah dimodifikasi dengan asumsi berat ikan yang berhasil ditangkap mencapai 18 ton tiap kali round trip dimana tiap kali setting diperoleh ikan sebanyak 727,27 kg. Maka penambahan jumlah setting adalah:

$$= 18.000 \text{ kg} / 727,27 \text{ kg}$$

$$= 24,75 \text{ dibulatkan } 24$$

Jadi jumlah ikan bandeng sebagai umpan yang diperlukan untuk satu kali round trip adalah:

$$= 12 \times 1.225 = 14.700 \text{ ekor}$$

$$\text{atau} = 14.700 / 75 \times 10 \text{ kg} = 1.960 \text{ kg}$$

Berarti biaya umpan untuk satu kali round trip

$$= 1.960 \times \text{Rp } 3.000,00$$

$$= \text{Rp } 5.880.000,00$$

Jadi biaya satu tahun adalah

$$= 19 \times \text{Rp } 5.880.000,00$$

$$= \text{Rp } 111.720.000,00$$

5.5.5. Rangkuman

Dari hasil perhitungan biaya ekonomis di atas dapat dibuat rangkumannya untuk kapal berpendingin es dengan kapal berpendingin mekanis sebagai berikut:

	Kapal berpendingin es	Kapal berpendingin mekanis
Biaya Investasi	Rp 1.500.000.000,00	Rp 1.650.000.000,00
Penghasilan Kotor	Rp 1.048.800.000,00	Rp 2.359.800.000,00
Biaya Operasional, terdiri dari:		
• Biaya Anak Buah Kapal	Rp 63.000.000,00	Rp 63.000.000,00
• Biaya Pemeliharaan	Rp 8.165.000,00	Rp 8.165.000,00
• Biaya Reparasi	Rp 4.002.000,00	Rp 4.002.000,00
• Biaya Asuransi	Rp 50.916.000,00	Rp 50.916.000,00
• Biaya Bahan Bakar	Rp 188.677.100,00	Rp 188.677.100,00
• Biaya Minyak Pelumas	Rp 74.347.900,00	Rp 74.347.900,00
• Biaya Air Tawar	Rp 378.290,00	Rp 378.290,00
• Biaya Pembelian Es	Rp 2.280.000,00	-
• Biaya Administrasi dll.	Rp 150.472.900,00	Rp 150.472.900,00
• Biaya Umpan	Rp 54.150.000,00	Rp 111.720.000,00
Total Biaya Operasional	Rp 596.389.190,00	Rp 651.679.190,00

**Tabel Perhitungan Umur Ekonomis Kapal Ikan Dengan Pendingin Es
Menggunakan Metode Average Annual Benefit**

P 1.5
I 0.14
Ro 1.0488
Yo 0.59638919

No	Notasi	Tahun Operasi Ke-										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	N											
2	w		0.000524	0.002098	0.00472	0.00839	0.01311	0.018878	0.025696	0.033562	0.042476	0.05244
3	x		0.005244	0.010488	0.015732	0.020976	0.02622	0.031464	0.036708	0.041952	0.047196	0.05244
4	y		0.002982	0.005964	0.008946	0.011928	0.01491	0.017892	0.020874	0.023856	0.026838	0.029819
5	z		0.01491	0.021086	0.025824	0.029819	0.033339	0.036521	0.039447	0.042171	0.044729	0.047149
6	v		0.015434	0.023183	0.030544	0.03821	0.046449	0.0554	0.065143	0.075733	0.087206	0.099589
7	Ro - (x + v)	1.0488	1.03E+00	1.02E+00	1.00E+00	9.90E-01	9.76E-01	9.62E-01	9.47E-01	9.31E-01	9.14E-01	8.97E-01
8	Yo + y	0.596389	5.99E-01	6.02E-01	6.05E-01	6.08E-01	6.11E-01	6.14E-01	6.17E-01	6.20E-01	6.23E-01	6.26E-01
9	A (cash flows)		4.29E-01	4.13E-01	3.97E-01	3.81E-01	3.65E-01	3.48E-01	3.30E-01	3.11E-01	2.91E-01	2.71E-01
10	PW		0.877193	0.769468	0.674972	0.59208	0.519369	0.455587	0.399637	0.350559	0.307508	0.269744
11	PWAN		0.376097	0.317618	0.268091	0.225759	0.189482	0.158387	0.131755	0.108978	0.089538	0.072983
12	CPWAN		0.376097	0.693715	0.961806	1.187564	1.377047	1.535434	1.667189	1.776167	1.865705	1.938687
13	Ln	1.5	1.275	1.08375	0.921188	0.783009	0.665558	0.565724	0.480866	0.408736	0.347425	0.295312
14	PWLn		1.118421	0.83391	0.621775	0.463604	0.34567	0.257736	0.192172	0.143286	0.106836	0.079658
15	NPV		-5.48E-03	2.76E-02	8.36E-02	1.51E-01	2.23E-01	2.93E-01	3.59E-01	4.19E-01	4.73E-01	5.18E-01
16	CR		1.14	0.60729	0.430731	0.343205	0.291284	0.257157	0.233192	0.21557	0.202168	0.191714
17	AAB		-0.006249	0.016776	0.036001	0.051882	0.064874	0.075391	0.0838	0.090422	0.095533	0.099374

**Tabel Perhitungan Umur Ekonomis Kapal Ikan Dengan Pendingin Es
Menggunakan Metode Average Annual Benefit**

P 1.5
I 0.14
Ro 1.0488
Yo 0.59638919

No	Notasi	Tahun Operasi Ke-									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	N										
2	w	0.063452	0.075514	0.088624	0.102782	0.11799	0.134246	0.151552	0.169906	0.189308	0.20976
3	x	0.057684	0.062928	0.068172	0.073416	0.07866	0.083904	0.089148	0.094392	0.099636	0.10488
4	y	0.032801	0.035783	0.038765	0.041747	0.044729	0.047711	0.050693	0.053675	0.056657	0.059639
5	z	0.04945	0.051649	0.053758	0.055787	0.057745	0.059639	0.061474	0.063257	0.06499	0.066678
6	v	0.112902	0.127162	0.142381	0.15857	0.175735	0.193885	0.213026	0.233162	0.254298	0.276438
7	Ro - (x + v)	8.78E-01	8.59E-01	8.38E-01	8.17E-01	7.94E-01	7.71E-01	7.47E-01	7.21E-01	6.95E-01	6.67E-01
8	Yo + y	6.29E-01	6.32E-01	6.35E-01	6.38E-01	6.41E-01	6.44E-01	6.47E-01	6.50E-01	6.53E-01	6.56E-01
9	A (cash flows)	2.49E-01	2.27E-01	2.03E-01	1.79E-01	1.53E-01	1.27E-01	9.95E-02	7.12E-02	4.18E-02	1.15E-02
10	PW	0.236617	0.207559	0.182069	0.15971	0.140096	0.122892	0.1078	0.094561	0.082948	0.072762
11	PWAN	0.058923	0.04702	0.036977	0.028537	0.021475	0.015596	0.010731	0.006731	0.003469	0.000833
12	CPWAN	1.997611	2.04463	2.081607	2.110144	2.131619	2.147215	2.157946	2.164677	2.168146	2.168979
13	Ln	0.251015	0.213363	0.181358	0.154155	0.131031	0.111377	0.09467	0.08047	0.068399	0.058139
14	PWLn	0.059394	0.044285	0.03302	0.02462	0.018357	0.013687	0.010205	0.007609	0.005674	0.00423
15	NPV	5.57E-01	5.89E-01	6.15E-01	6.35E-01	6.50E-01	6.61E-01	6.68E-01	6.72E-01	6.74E-01	6.73E-01
16	CR	0.183394	0.176669	0.171164	0.166609	0.162809	0.159615	0.156915	0.154621	0.152663	0.150986
17	AAB	0.102152	0.104043	0.105202	0.105757	0.105822	0.10549	0.104843	0.10395	0.102867	0.101645

**Tabel Perhitungan Umur Ekonomis Kapal Ikan Dengan Pendingin Es
Menggunakan Metode Average Annual Benefit**

P 1.5
I 0.14
Ro 1.0488
Yo 0.59638919

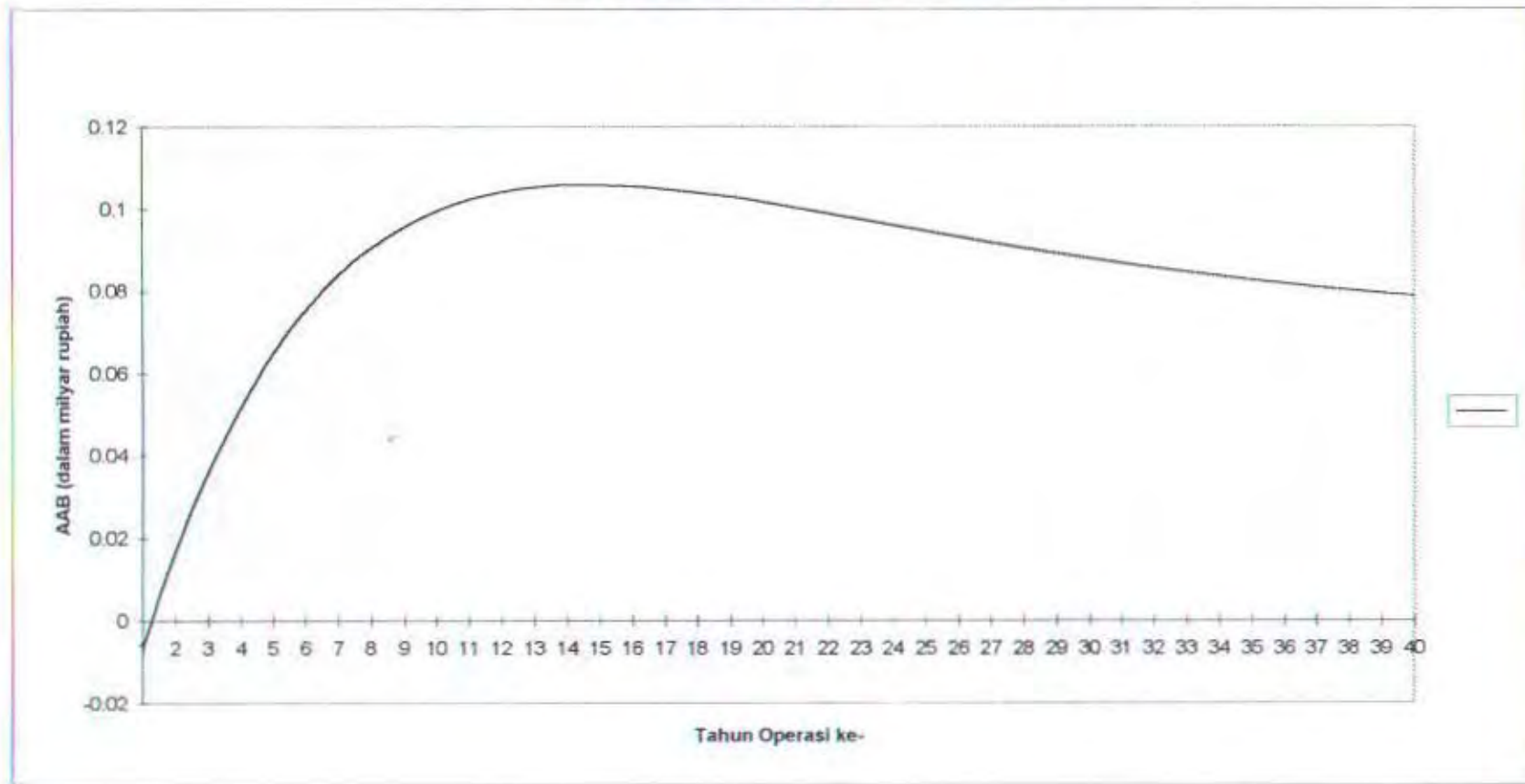
No	Notasi	Tahun Operasi Ke-									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	N										
2	w	0.23126	0.25381	0.277408	0.302054	0.32775	0.354494	0.382288	0.41113	0.44102	0.47196
3	x	0.110124	0.115368	0.120612	0.125856	0.1311	0.136344	0.141588	0.146832	0.152076	0.15732
4	y	0.062621	0.065603	0.068585	0.071567	0.074549	0.077531	0.080513	0.083494	0.086476	0.089458
5	z	0.068325	0.069933	0.071505	0.073042	0.074549	0.076025	0.077473	0.078895	0.080291	0.081664
6	v	0.299585	0.323742	0.348912	0.375097	0.402299	0.430519	0.459761	0.490024	0.521312	0.553624
7	Ro - (x + v)	6.39E-01	6.10E-01	5.79E-01	5.48E-01	5.15E-01	4.82E-01	4.47E-01	4.12E-01	3.75E-01	3.38E-01
8	Yo + y	6.59E-01	6.62E-01	6.65E-01	6.68E-01	6.71E-01	6.74E-01	6.77E-01	6.80E-01	6.83E-01	6.86E-01
9	A (cash flows)	-1.99E-02	-5.23E-02	-8.57E-02	-1.20E-01	-1.56E-01	-1.92E-01	-2.29E-01	-2.68E-01	-3.07E-01	-3.48E-01
10	PW	0.063826	0.055988	0.049112	0.043081	0.03779	0.033149	0.029078	0.025507	0.022375	0.019627
11	PWAN	-0.001271	-0.002928	-0.004209	-0.005174	-0.005878	-0.006364	-0.006672	-0.006834	-0.006879	-0.00683
12	CPWAN	2.166874	2.163946	2.159737	2.154563	2.148685	2.142321	2.135649	2.128815	2.121935	2.115105
13	Ln	0.049418	0.042006	0.035705	0.030349	0.025797	0.021927	0.018638	0.015842	0.013466	0.011446
14	PWLn	0.003154	0.002352	0.001754	0.001307	0.000975	0.000727	0.000542	0.000404	0.000301	0.000225
15	NPV	6.70E-01	6.66E-01	6.61E-01	6.56E-01	6.50E-01	6.43E-01	6.36E-01	6.29E-01	6.22E-01	6.15E-01
16	CR	0.149545	0.148303	0.147231	0.146303	0.145498	0.1448	0.144193	0.143664	0.143204	0.142803
17	AAB	0.100199	0.098814	0.097392	0.095956	0.094524	0.093113	0.091734	0.090396	0.089107	0.087871

**Tabel Perhitungan Umur Ekonomis Kapal Ikan Dengan Pendingin Es
Menggunakan Metode Average Annual Benefit**

P 1.5
I 0.14
Ro 1.0488
Yo 0.59638919

No	Notasi	Tahun Operasi Ke-									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	N										
2	w	0.503948	0.536986	0.571072	0.606206	0.64239	0.679622	0.717904	0.757234	0.797612	0.83904
3	x	0.162564	0.167808	0.173052	0.178296	0.18354	0.188784	0.194028	0.199272	0.204516	0.20976
4	y	0.09244	0.095422	0.098404	0.101386	0.104368	0.10735	0.110332	0.113314	0.116296	0.119278
5	z	0.083014	0.084342	0.08565	0.086938	0.088207	0.089458	0.090692	0.09191	0.093111	0.094297
6	v	0.586962	0.621328	0.656721	0.693144	0.730597	0.769081	0.808596	0.849143	0.890724	0.933337
7	Ro - (x + v)	2.99E-01	2.60E-01	2.19E-01	1.77E-01	1.35E-01	9.09E-02	4.62E-02	3.85E-04	-4.64E-02	-9.43E-02
8	Yo + y	6.89E-01	6.92E-01	6.95E-01	6.98E-01	7.01E-01	7.04E-01	7.07E-01	7.10E-01	7.13E-01	7.16E-01
9	A (cash flows)	-3.90E-01	-4.32E-01	-4.76E-01	-5.20E-01	-5.66E-01	-6.13E-01	-6.61E-01	-7.09E-01	-7.59E-01	-8.10E-01
10	PW	0.017217	0.015102	0.013248	0.011621	0.010194	0.008942	0.007844	0.00688	0.006035	0.005294
11	PWAN	-0.006707	-0.00653	-0.006303	-0.006048	-0.005771	-0.00548	-0.005181	-0.00488	-0.004582	-0.004288
12	CPWAN	2.108398	2.101872	2.095569	2.089522	2.083751	2.078271	2.07309	2.06821	2.063628	2.05934
13	Ln	0.009729	0.00827	0.007029	0.005975	0.005079	0.004317	0.003669	0.003119	0.002651	0.002253
14	PWL _n	0.000168	0.000125	9.31E-05	6.94E-05	5.18E-05	3.86E-05	2.88E-05	2.15E-05	1.6E-05	1.19E-05
15	NPV	6.09E-01	6.02E-01	5.96E-01	5.90E-01	5.84E-01	5.78E-01	5.73E-01	5.68E-01	5.64E-01	5.59E-01
16	CR	0.142453	0.142147	0.14188	0.141646	0.141442	0.141263	0.141107	0.14097	0.14085	0.140745
17	AAB	0.086692	0.085572	0.084512	0.083513	0.082574	0.081694	0.080871	0.080104	0.079389	0.078726

Grafik Hasil Perhitungan dengan Metode AAB
untuk Kapal Ikan dengan Pendingin Es



**Tabel Perhitungan Umur Ekonomis Kapal Ikan Dengan Pendingin Mekanis
Menggunakan Metode Average Annual Benefit**

P 1.65
I 0.14
Ro 2.3598
Yo 0.65167919

No	Notasi	Tahun Operasi Ke-										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	N											
2	w		0.00118	0.00472	0.010619	0.018878	0.029498	0.042476	0.057815	0.075514	0.095572	0.11799
3	x		0.011799	0.023598	0.035397	0.047196	0.058995	0.070794	0.082593	0.094392	0.106191	0.11799
4	y		0.003258	0.006517	0.009775	0.013034	0.016292	0.01955	0.022809	0.026067	0.029326	0.032584
5	z		0.016292	0.02304	0.028219	0.032584	0.03643	0.039907	0.043105	0.046081	0.048876	0.05152
6	v		0.017472	0.02776	0.038838	0.051462	0.065927	0.082383	0.10092	0.121594	0.144448	0.16951
7	Ro - (x + v)	2.3598	2.33E+00	2.31E+00	2.29E+00	2.26E+00	2.23E+00	2.21E+00	2.18E+00	2.14E+00	2.11E+00	2.07E+00
8	Yo + y	0.651679	6.55E-01	6.58E-01	6.61E-01	6.65E-01	6.68E-01	6.71E-01	6.74E-01	6.78E-01	6.81E-01	6.84E-01
9	A (cash flows)		1.68E+00	1.65E+00	1.62E+00	1.60E+00	1.57E+00	1.54E+00	1.50E+00	1.47E+00	1.43E+00	1.39E+00
10	PW		0.877193	0.769468	0.674972	0.59208	0.519369	0.455587	0.399637	0.350559	0.307508	0.269744
11	PWAN		1.469817	1.269811	1.096229	0.945214	0.813802	0.699504	0.600175	0.513943	0.439169	0.374414
12	CPWAN		1.469817	2.739628	3.835857	4.781071	5.594873	6.294377	6.894552	7.408495	7.847665	8.222079
13	Ln	1.65	1.4025	1.192125	1.013306	0.86131	0.732114	0.622297	0.528952	0.449609	0.382168	0.324843
14	PWLn		1.230263	0.917301	0.683953	0.509965	0.380237	0.28351	0.211389	0.157615	0.11752	0.087624
15	NPV		1.05E+00	2.01E+00	2.87E+00	3.64E+00	4.33E+00	4.93E+00	5.46E+00	5.92E+00	6.32E+00	6.66E+00
16	CR		1.14	0.60729	0.430731	0.343205	0.291284	0.257157	0.233192	0.21557	0.202168	0.191714
17	AAB		1.197092	1.218788	1.236117	1.249621	1.259833	1.267243	1.272284	1.275336	1.276731	1.276755

**Tabel Perhitungan Umur Ekonomis Kapal Ikan Dengan Pendingin Mekanis
Menggunakan Metode Average Annual Benefit**

P 1.65
I 0.14
Ro 2.3598
Yo 0.65167919

No	Notasi	Tahun Operasi Ke-									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	N										
2	w	0.142768	0.169906	0.199403	0.23126	0.265478	0.302054	0.340991	0.382288	0.425944	0.47196
3	x	0.129789	0.141588	0.153387	0.165186	0.176985	0.188784	0.200583	0.212382	0.224181	0.23598
4	y	0.035842	0.039101	0.042359	0.045618	0.048876	0.052134	0.055393	0.058651	0.06191	0.065168
5	z	0.054034	0.056437	0.058742	0.060959	0.063099	0.065168	0.067174	0.069121	0.071015	0.07286
6	v	0.196802	0.226343	0.258145	0.292219	0.328576	0.367222	0.408165	0.451409	0.496959	0.54482
7	Ro - (x + v)	2.03E+00	1.99E+00	1.95E+00	1.90E+00	1.85E+00	1.80E+00	1.75E+00	1.70E+00	1.64E+00	1.58E+00
8	Yo + y	6.88E-01	6.91E-01	6.94E-01	6.97E-01	7.01E-01	7.04E-01	7.07E-01	7.10E-01	7.14E-01	7.17E-01
9	A (cash flows)	1.35E+00	1.30E+00	1.25E+00	1.21E+00	1.15E+00	1.10E+00	1.04E+00	9.86E-01	9.25E-01	8.62E-01
10	PW	0.236617	0.207559	0.182069	0.15971	0.140096	0.122892	0.1078	0.094561	0.082948	0.072762
11	PWAN	0.318413	0.270053	0.228357	0.192466	0.161627	0.135178	0.112541	0.093207	0.076733	0.062732
12	CPWAN	8.540492	8.810545	9.038902	9.231368	9.392995	9.528174	9.640714	9.733921	9.810654	9.873386
13	Ln	0.276116	0.234699	0.199494	0.16957	0.144134	0.122514	0.104137	0.088517	0.075239	0.063953
14	PWLn	0.065334	0.048714	0.036322	0.027082	0.020193	0.015056	0.011226	0.00837	0.006241	0.004653
15	NPV	6.96E+00	7.21E+00	7.43E+00	7.61E+00	7.76E+00	7.89E+00	8.00E+00	8.09E+00	8.17E+00	8.23E+00
16	CR	0.183394	0.176669	0.171164	0.166609	0.162809	0.159615	0.156915	0.154621	0.152663	0.150986
17	AAB	1.275659	1.273655	1.270929	1.267637	1.263917	1.259881	1.255628	1.251239	1.246784	1.242319

**Tabel Perhitungan Umur Ekonomis Kapal Ikan Dengan Pendingin Mekanis
Menggunakan Metode Average Annual Benefit**

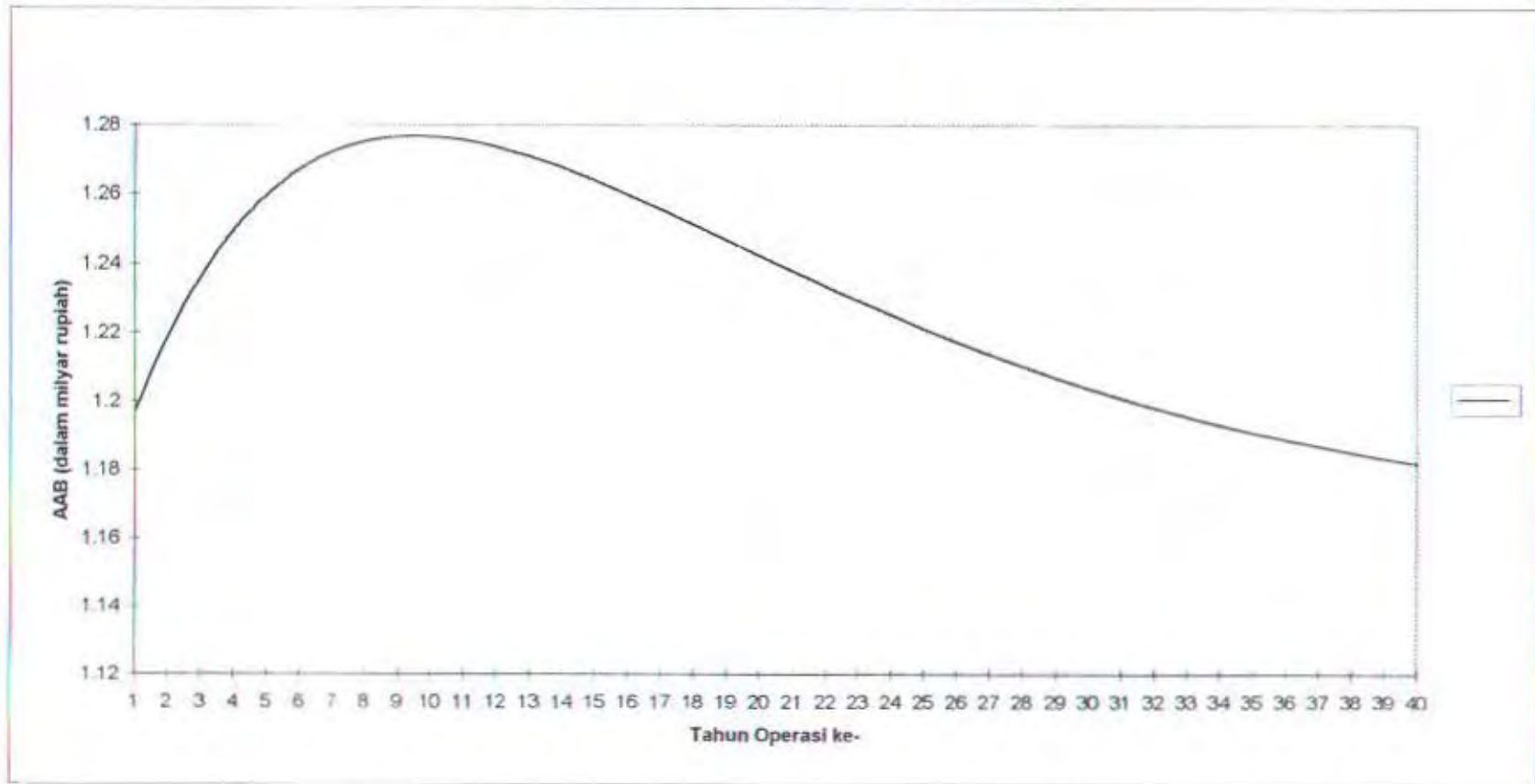
P 1.65
I 0.14
Ro 2.3598
Yo 0.65167919

No	Notasi	Tahun Operasi Ke-									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	N										
2	w	0.520336	0.571072	0.624167	0.679622	0.737438	0.797612	0.860147	0.925042	0.992296	1.06191
3	x	0.247779	0.259578	0.271377	0.283176	0.294975	0.306774	0.318573	0.330372	0.342171	0.35397
4	y	0.068426	0.071685	0.074943	0.078202	0.08146	0.084718	0.087977	0.091235	0.094493	0.097752
5	z	0.074659	0.076416	0.078134	0.079814	0.08146	0.083073	0.084656	0.086209	0.087735	0.089235
6	v	0.594995	0.647488	0.702301	0.759436	0.818897	0.880686	0.944803	1.011251	1.080331	1.151145
7	Ro - (x + v)	1.52E+00	1.45E+00	1.39E+00	1.32E+00	1.25E+00	1.17E+00	1.10E+00	1.02E+00	9.38E-01	8.55E-01
8	Yo + y	7.20E-01	7.23E-01	7.27E-01	7.30E-01	7.33E-01	7.36E-01	7.40E-01	7.43E-01	7.46E-01	7.49E-01
9	A (cash flows)	7.97E-01	7.29E-01	6.60E-01	5.87E-01	5.13E-01	4.36E-01	3.57E-01	2.75E-01	1.91E-01	1.05E-01
10	PW	0.063826	0.055988	0.049112	0.043081	0.03779	0.033149	0.029078	0.025507	0.022375	0.019627
11	PWAN	0.050864	0.040836	0.032389	0.025302	0.019378	0.014451	0.010374	0.007021	0.004283	0.002066
12	CPWAN	9.861519	9.902355	9.934744	9.960046	9.979424	9.993875	10.00425	10.01127	10.01555	10.01762
13	Ln	0.05436	0.046206	0.039275	0.033384	0.028376	0.02412	0.020502	0.017427	0.014813	0.012591
14	PWLn	0.00347	0.002587	0.001929	0.001438	0.001072	0.0008	0.000596	0.000445	0.000331	0.000247
15	NPV	8.21E+00	8.25E+00	8.29E+00	8.31E+00	8.33E+00	8.34E+00	8.35E+00	8.36E+00	8.37E+00	8.37E+00
16	CR	0.149545	0.148303	0.147231	0.146303	0.145498	0.1448	0.144193	0.143664	0.143204	0.142803
17	AAB	1.228509	1.224234	1.220054	1.215994	1.212074	1.208309	1.204709	1.201282	1.19803	1.194955

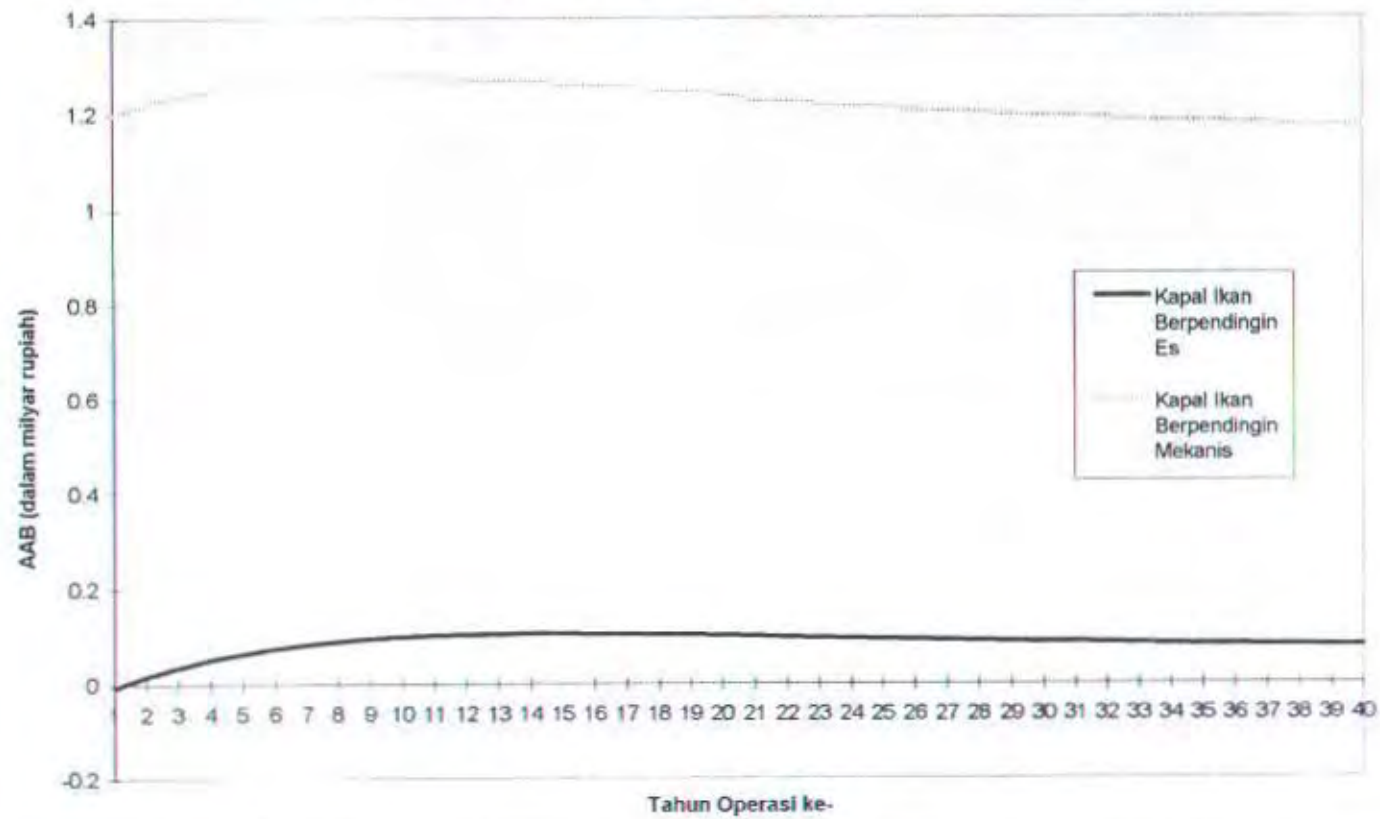
P	1.65
I	0.14
Ro	2.3598
Yo	0.65167919

No	Notasi	Tahun Operasi Ke-									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	N										
2	w	1.133884	1.208218	1.284911	1.363964	1.445378	1.52915	1.615283	1.703776	1.794628	1.88784
3	x	0.365769	0.377568	0.389367	0.401166	0.412965	0.424764	0.436563	0.448362	0.460161	0.47196
4	y	0.10101	0.104269	0.107527	0.110785	0.114044	0.117302	0.120561	0.123819	0.127077	0.130336
5	z	0.09071	0.092161	0.09359	0.094998	0.096385	0.097752	0.0991	0.100431	0.101743	0.10304
6	v	1.224594	1.300379	1.378501	1.458962	1.541762	1.626902	1.714383	1.804206	1.896371	1.99088
7	Ro - (x + v)	7.69E-01	6.82E-01	5.92E-01	5.00E-01	4.05E-01	3.08E-01	2.09E-01	1.07E-01	3.27E-03	-1.03E-01
8	Yo + y	7.53E-01	7.56E-01	7.59E-01	7.62E-01	7.66E-01	7.69E-01	7.72E-01	7.75E-01	7.79E-01	7.82E-01
9	A (cash flows)	1.67E-02	-7.41E-02	-1.67E-01	-2.63E-01	-3.61E-01	-4.61E-01	-5.63E-01	-6.68E-01	-7.75E-01	-8.85E-01
10	PW	0.017217	0.015102	0.013248	0.011621	0.010194	0.008942	0.007844	0.00688	0.006035	0.005294
11	PWAN	0.000288	-0.00112	-0.002216	-0.003054	-0.003676	-0.004121	-0.004419	-0.004598	-0.00468	-0.004686
12	CPWAN	10.01791	10.01679	10.01457	10.01152	10.00784	10.00372	9.999303	9.994705	9.990024	9.985339
13	Ln	0.010702	0.009097	0.007732	0.006572	0.005587	0.004749	0.004036	0.003431	0.002916	0.002479
14	PWL _{Ln}	0.000184	0.000137	0.000102	7.64E-05	5.69E-05	4.25E-05	3.17E-05	2.36E-05	1.76E-05	1.31E-05
15	NPV	8.37E+00	8.37E+00	8.36E+00	8.36E+00	8.36E+00	8.35E+00	8.35E+00	8.34E+00	8.34E+00	8.34E+00
16	CR	0.142453	0.142147	0.14188	0.141646	0.141442	0.141263	0.141107	0.14097	0.14085	0.140745
17	AAB	1.192056	1.189331	1.186777	1.184387	1.182156	1.180079	1.178148	1.176356	1.174696	1.17316

**Grafik Hasil Perhitungan dengan Metode AAB
untuk Kapal Ikan dengan Pendingin Mekanis**



Grafik Perbandingan Average Annual Benefit
Antara Kapal Ikan Berpendingin Es Dengan Kapal Ikan Berpendingin Mekanis





BAB VI

KESIMPULAN

BAB VI

KESIMPULAN

Dari hasil-hasil yang telah didapatkan pada pembahasan dalam Tugas Akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Pada sistem pendingin kapal ikan tuna segar 60 GT menggunakan sistem pendingin kompresi vaporasi dimana setelah dilakukan pemasangan sistem ini di kapal maka mampu menggantikan pendingin es. Untuk keperluan tersebut maka dibutuhkan kompresor dengan daya 1,392 kW dan panjang koil evaporator 628,46 m.

Secara ekonomis pemasangan sistem pendingin yang baru juga lebih menguntungkan karena dengan tidak adanya muatan es maka ruangan yang tersisa bisa digunakan untuk menambah jumlah ikan yang ditangkap sehingga penghasilan bisa bertambah. Kapal ikan dengan pendingin es memiliki umur ekonomis 15 tahun dengan nilai AAB tertinggi Rp 105.821.000,00. Sedangkan kapal ikan dengan pendingin mekanis memiliki umur ekonomis 10 tahun dengan nilai AAB tertingginya Rp 1.276.755.000,00.

Sehingga dari hasil di atas diketahui bahwa pemasangan sistem pendingin pada kapal ikan tuna 60 GT mempunyai nilai ekonomis yang menguntungkan.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. ASHRAE Handbook and Product Directory, *Guide and Data Book*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., New York, 1977.
2. Arismunandar, W., Saito, Heizo, *Penyegaran Udara*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1986.
3. Althouse, Andrew D., *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, The Goodheart-Willcox CO., Inc., USA, 1968.
4. Sparks, Norman, R., *Mechanical Refrigeration*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.
5. Regenstien, Joe M. and Regenstien, Carrie E., *Introduction to Fish Technology*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1991.
6. Ilyas, Sofyan, *Refrigerasi Hasil Perikanan*, Teknik Pendinginan Ikan, Jakarta, 1983.
7. Dossat, Roy J., *Principles of Refrigeration*, Willey & Sons International Edition, London, 1961.
8. Prajudo, Setijo, *Ship Design Economics*, Buku diktat kuliah teknik perkapalan, FTK, ITS, Surabaya.

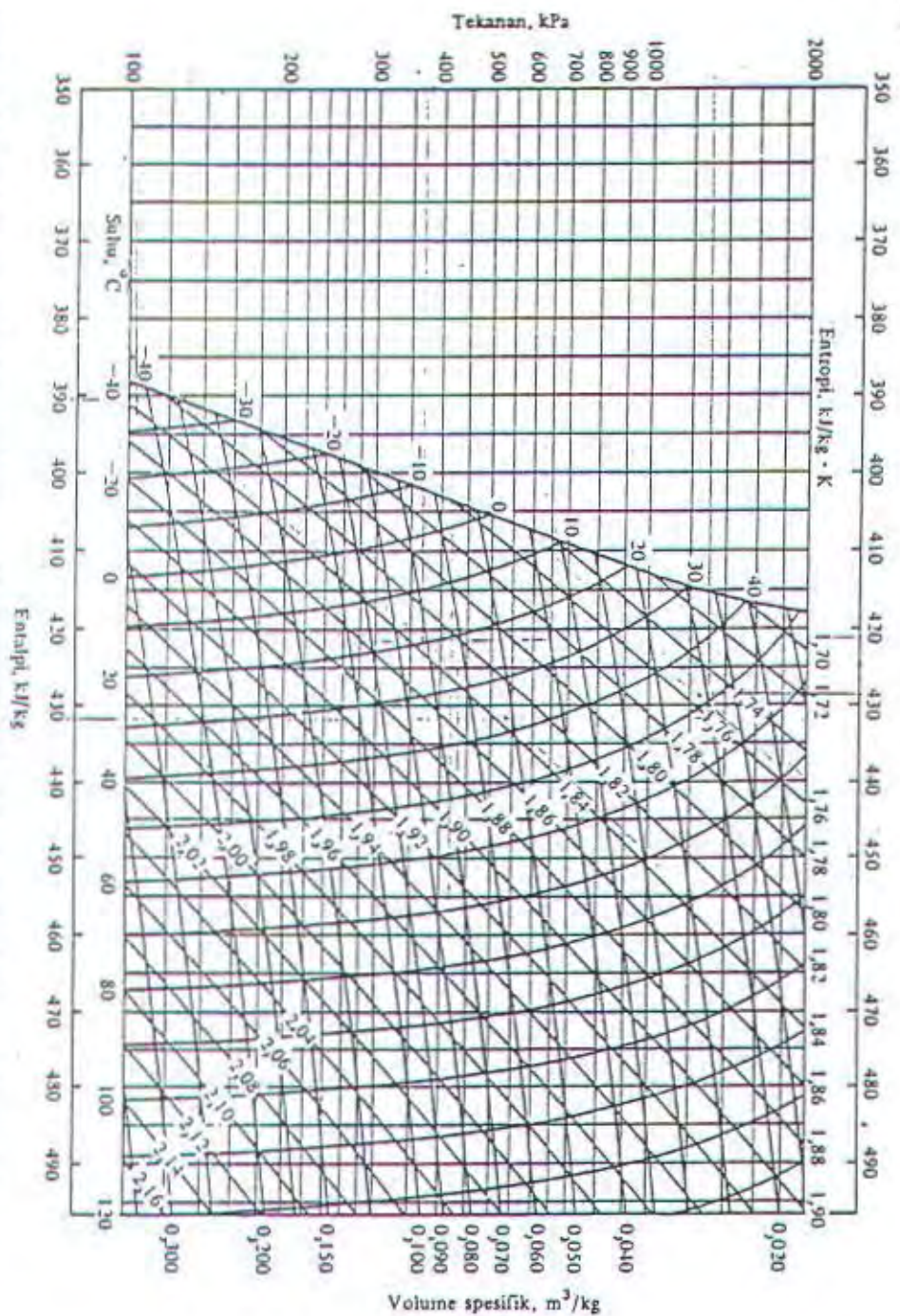
9. Benford, Harry, *Ship Economics and Design*, The University of Michigan, College of Engineering, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, 1988.
10. Poehls, Herald, *Lectures on Ship Design and Ship Theory*, University of Hanover, 1979.
11. Taylor, George A., *Managerial and Engineering Economy*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1964.
12. Jordan, Richard C. and Priester, Gayle B., *Refrigeration and Air Conditioning*, Charles E. Tuttle Company, Tokyo, 1965.



LAMPIRAN

Berbagai ekuivalen dimensional

Panjang	$1 \text{ m} = 3.2808 \text{ ft} = 39.37 \text{ in}$ $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} = 0.394 \text{ in} = 0.0328 \text{ ft}$ $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ $1 \text{ km} = 0.621 \text{ mi}$ $1 \text{ mi} = 5280 \text{ ft}$
Luas	$1 \text{ m}^2 = 10.76 \text{ ft}^2$ $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.155 \text{ in}^2$
Volume	$1 \text{ gal} = 0.13368 \text{ ft}^3 = 3.785 \text{ liters}$ $1 \text{ liter} = 10^{-3} \text{ m}^3$
Waktu	$1 \text{ h} = 3600 \text{ s} = 60 \text{ min}$ $1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$ $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$
Massa	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 2.2046 \text{ lbm} = 6.8521 \times 10^{-2} \text{ slug}$ $1 \text{ slug} = 1 \text{ lbf} \cdot \text{s}^2 / \text{ft} = 32.174 \text{ lbm}$
Gaya	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ $1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm} / \text{s}^2$ $1 \text{ lbf} = 4.448 \times 10^3 \text{ dyn} = 4.448 \text{ N}$
Energi	$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ $1 \text{ Btu} = 778.16 \text{ ft} \cdot \text{lbf} = 1.055 \times 10^{10} \text{ ergs} = 252 \text{ cal} = 1055.0 \text{ J}$ $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$ $1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J} = 1000 \text{ cal}$ $1 \text{ erg} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 / \text{s}^2 = 10^{-7} \text{ J}$ $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ $1 \text{ Q} = 10^{18} \text{ Btu} = 1.055 \times 10^{21} \text{ J}$ $1 \text{ Quad} = 10^{15} \text{ Btu}$ $1 \text{ kJ} = 0.947813 \text{ Btu} = 0.23884 \text{ kcal}$
Daya	$1 \text{ W} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 = 1 \text{ J/s}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ ft} \cdot \text{lbf} / \text{s}$ $1 \text{ hp} = 2545 \text{ Btu/h} = 746 \text{ W}$ $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 3412 \text{ Btu/h}$
Tekanan	$1 \text{ atm} = 14.696 \text{ lbf/in}^2 = 760 \text{ torr} = 101325 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ mm Hg} = 0.01934 \text{ lbf/in}^2 = 1 \text{ torr}$ $1 \text{ dyn/cm}^2 = 145.04 \times 10^{-7} \text{ lbf/in}^2$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 14.504 \text{ lbf/in}^2 = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$ $1 \mu = 10^{-6} \text{ m Hg} = 10^{-3} \text{ mm Hg}$ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1.4504 \times 10^{-4} \text{ lbf/in}^2$ $1 \text{ in Hg} = 3376.8 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ in H}_2\text{O} = 248.8 \text{ N/m}^2$
Daya per satuan luas	$1 \text{ W/m}^2 = 0.3170 \text{ Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2) = 0.85984 \text{ kcal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
Koefisien perpindahan panas	$1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) = 0.1761 \text{ Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) = 0.85984 \text{ kcal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Energi per satuan massa	$1 \text{ kJ/kg} = 0.4299 \text{ Btu/lbm} = 0.23884 \text{ kcal/kg}$
Panas jenis	$1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) = 0.23884 \text{ Btu}/(\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}) = 0.23884 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
Konduktivitas termal	$1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) = 0.5778 \text{ Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}) = 0.85984 \text{ kcal}/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C})$



Gambar A-4 Diagram tekanan entalpi pamasinisat refrigeran 22. (Prepared for this book by the Technical University of Denmark from data in Ref. 9.)

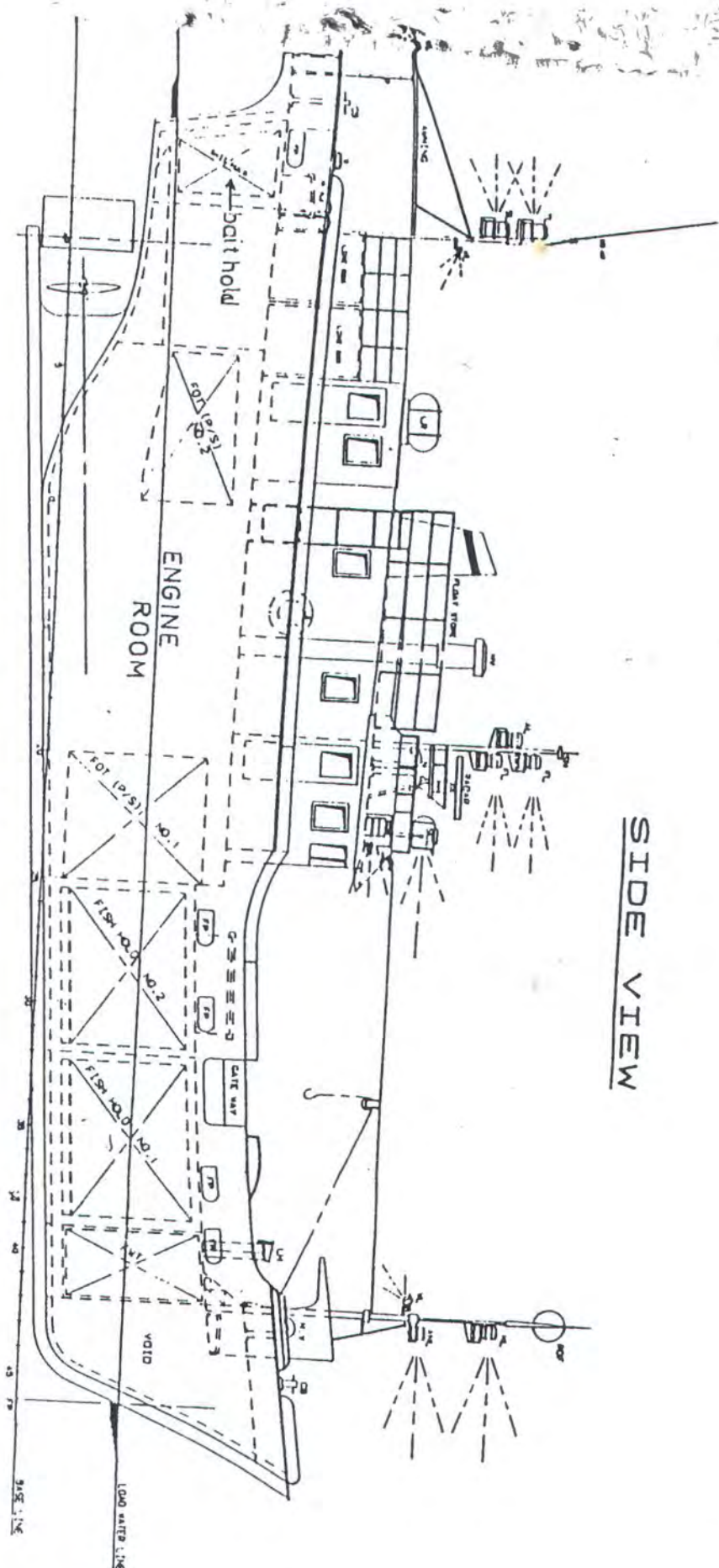
Tabel A-6 Refrigeran 22: sifat-sifat cairan dan uap jenuh⁶

$t, ^\circ\text{C}$	P, kPa	Enalpi, kJ/kg		Entropi, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		Volume spesifik, L/kg	
		h_f	h_g	s_f	s_g	v_f	v_g
-60	37,48	134,763	379,114	0,73254	1,87886	0,68208	537,152
-55	49,47	139,830	381,529	0,75599	1,86389	0,68856	414,827
-50	64,39	144,959	383,921	0,77919	1,85000	0,69526	324,557
-45	82,71	150,153	386,282	0,80216	1,83708	0,70219	256,990
-40	104,95	155,414	388,609	0,82490	1,82504	0,70936	205,745
-35	131,68	160,742	390,896	0,84743	1,81380	0,71680	166,400
-30	163,48	166,140	393,138	0,86976	1,80329	0,72452	135,844
-28	177,76	168,318	394,021	0,87864	1,79927	0,72769	125,563
-26	192,99	170,507	394,896	0,88748	1,79535	0,73092	116,214
-24	209,22	172,708	395,762	0,89630	1,79152	0,73420	107,701
-22	226,48	174,919	396,619	0,90509	1,78779	0,73753	99,9362
-20	244,83	177,142	397,467	0,91386	1,78415	0,74091	92,8432
-18	264,29	179,376	398,305	0,92259	1,78059	0,74436	86,3546
-16	284,93	181,622	399,133	0,93129	1,77711	0,74786	80,4103
-14	306,78	183,878	399,951	0,93997	1,77371	0,75143	74,9572
-12	329,89	186,147	400,759	0,94862	1,77039	0,75506	69,9478
-10	354,30	188,426	401,555	0,95725	1,76713	0,75876	65,3399
-9	367,01	189,571	401,949	0,96155	1,76553	0,76063	63,1746
-8	380,06	190,718	402,341	0,96585	1,76394	0,76253	61,0958
-7	393,47	191,868	402,729	0,97014	1,76237	0,76444	59,0996
-6	407,23	193,021	403,114	0,97442	1,76082	0,76636	57,1820
-5	421,35	194,176	403,496	0,97870	1,75928	0,76831	55,3394
-4	435,84	195,335	403,876	0,98297	1,75775	0,77028	53,5682
-3	450,70	196,497	404,252	0,98724	1,75624	0,77226	51,8653
-2	465,94	197,662	404,626	0,99150	1,75475	0,77427	50,2274
-1	481,57	198,828	404,994	0,99575	1,75326	0,77629	48,6517
0	497,59	200,000	405,361	1,00000	1,75279	0,77834	47,1354
1	514,01	201,174	405,724	1,00424	1,75034	0,78041	45,6757
2	530,83	202,351	406,084	1,00848	1,74829	0,78249	44,2702
3	548,06	203,530	406,440	1,01271	1,74746	0,78460	42,9166
4	565,71	204,713	406,793	1,01694	1,74604	0,78673	41,6124
5	583,78	205,899	407,143	1,02116	1,74463	0,78889	40,3556
6	602,28	207,089	407,489	1,02537	1,74324	0,79107	39,1441
7	621,22	208,281	407,831	1,02958	1,74185	0,79327	37,9759
8	640,59	209,477	408,169	1,03379	1,74047	0,79549	36,8493
9	660,42	210,675	408,504	1,03799	1,73911	0,79775	35,7624
10	680,70	211,877	408,835	1,04218	1,73775	0,80002	34,7136
11	701,44	213,083	409,162	1,04637	1,73640	0,80232	33,7013
12	722,65	214,291	409,485	1,05056	1,73506	0,80465	32,7239
13	744,23	215,503	409,804	1,05474	1,73373	0,80701	31,7801
14	766,50	216,719	410,119	1,05892	1,73241	0,80939	30,8683
15	789,15	217,937	410,430	1,06309	1,73109	0,81180	29,9874
16	812,29	219,160	410,736	1,06726	1,72978	0,81424	29,1361
17	835,93	220,386	411,038	1,07142	1,72848	0,81671	28,3131
18	860,08	221,615	411,336	1,07559	1,72719	0,81922	27,5173
19	884,75	222,848	411,629	1,07974	1,72590	0,82175	26,7477
20	909,93	224,084	411,918	1,08390	1,72462	0,82431	26,0032
21	935,64	225,324	412,202	1,08805	1,72334	0,82691	25,2829
22	961,89	226,568	412,481	1,09220	1,72206	0,82954	24,5857
23	988,67	227,816	412,755	1,09634	1,72080	0,83221	23,9107
24	1016,0	229,068	413,025	1,10048	1,71953	0,83491	23,2572
25	1043,9	230,324	413,289	1,10462	1,71827	0,83765	22,6242
26	1072,3	231,583	413,548	1,10876	1,71701	0,84043	22,0111
27	1101,4	232,847	413,802	1,11290	1,71576	0,84324	21,4169
28	1130,9	234,115	414,050	1,11703	1,71450	0,84610	20,8411

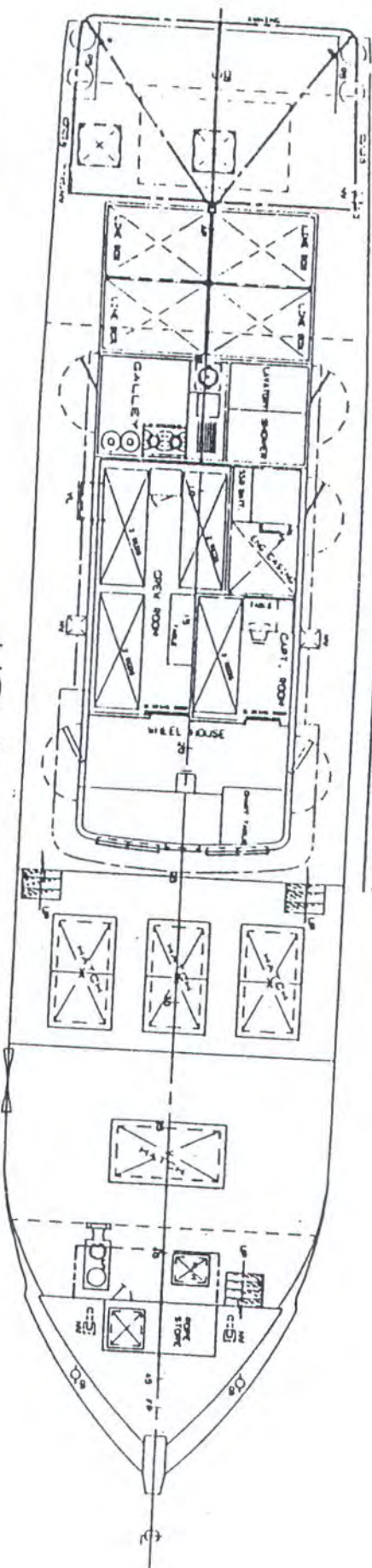
Tabel A-6 (lanjutan)

$t, ^\circ\text{C}$	P, kPa	Enthalpi, kJ/kg		Entropi, $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}$		Volume spesifik, L/kg	
		h_f	h_g	s_f	s_g	v_f	v_g
29	1161,1	235,387	414,293	1,12116	1,71325	0,34899	20,2829
30	1191,9	236,664	414,530	1,12530	1,71200	0,35193	19,7417
31	1223,2	237,944	414,762	1,12943	1,71075	0,35491	19,2168
32	1255,2	239,230	414,987	1,13355	1,70950	0,35793	18,7076
33	1287,8	240,520	415,207	1,13768	1,70826	0,36101	18,2135
34	1321,0	241,814	415,420	1,14181	1,70701	0,36412	17,7341
35	1354,8	243,114	415,627	1,14594	1,70576	0,36729	17,2686
36	1389,2	244,418	415,828	1,15007	1,70450	0,37051	16,8168
37	1424,3	245,727	416,021	1,15420	1,70325	0,37378	16,3779
38	1460,1	247,041	416,208	1,15833	1,70199	0,37710	15,9517
39	1496,5	248,361	416,388	1,16246	1,70073	0,38048	15,5375
40	1533,5	249,686	416,561	1,16659	1,69946	0,38392	15,1351
41	1571,2	251,016	416,726	1,17073	1,69819	0,38741	14,7439
42	1609,6	252,352	416,883	1,17486	1,69692	0,39097	14,3636
43	1648,7	253,694	417,033	1,17900	1,69564	0,39459	13,9938
44	1688,5	255,042	417,174	1,18315	1,69435	0,39828	13,6341
45	1729,0	256,396	417,308	1,18730	1,69305	0,40203	13,2841
46	1770,2	257,756	417,432	1,19145	1,69174	0,40586	12,9436
47	1812,1	259,123	417,548	1,19560	1,69043	0,40976	12,6122
48	1854,8	260,497	417,655	1,19977	1,68911	0,41374	12,2895
49	1898,2	261,877	417,752	1,20393	1,68777	0,41779	11,9753
50	1942,3	263,264	417,838	1,20811	1,68643	0,42193	11,6693
52	2032,8	266,062	417,983	1,21648	1,68370	0,43047	11,0806
54	2126,5	268,891	418,083	1,22489	1,68091	0,43939	10,5214
56	2223,2	271,754	418,137	1,23333	1,67805	0,44872	9,98952
58	2323,2	274,654	418,141	1,24183	1,67511	0,45850	9,48319
60	2426,6	277,594	418,089	1,25038	1,67208	0,46878	9,00062
62	2533,3	280,577	417,978	1,25899	1,66895	0,47960	8,54016
64	2643,5	283,607	417,802	1,26768	1,66570	0,49104	8,10023
66	2757,3	286,690	417,553	1,27647	1,66231	1,00317	7,67934
68	2874,7	289,832	417,226	1,28535	1,65876	1,01608	7,27605
70	2995,9	293,038	416,809	1,29436	1,65504	1,02987	6,88899
75	3316,1	301,399	415,299	1,31758	1,64472	1,06916	5,98334
80	3662,3	310,424	412,898	1,34223	1,63239	1,11810	5,14862
85	4036,8	320,505	409,101	1,36936	1,61673	1,18328	4,35815
90	4442,5	332,616	402,653	1,40155	1,59440	1,28230	3,56440
95	4883,5	351,767	386,708	1,45222	1,54712	1,52064	2,55133

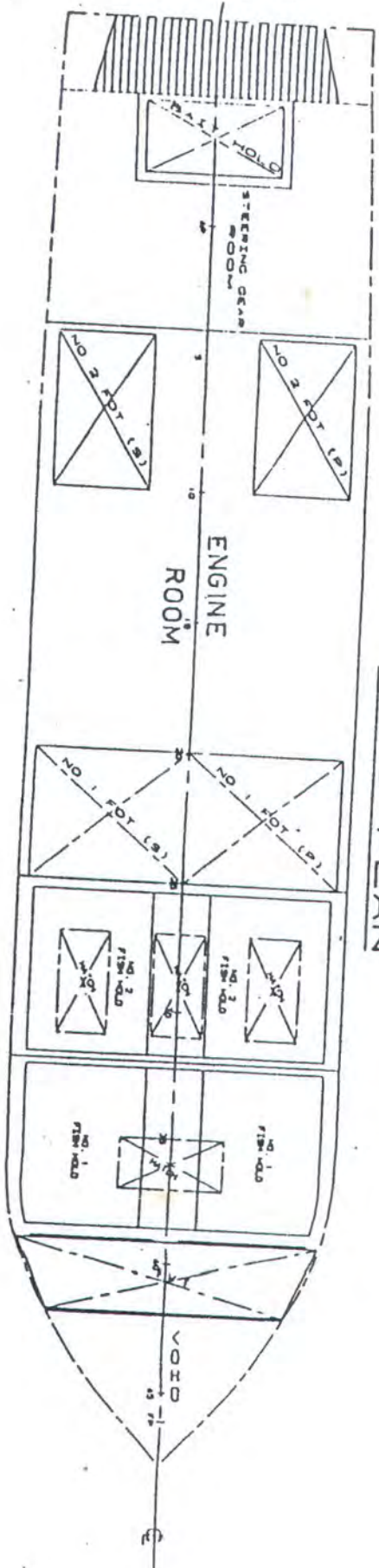
SIDE VIEW



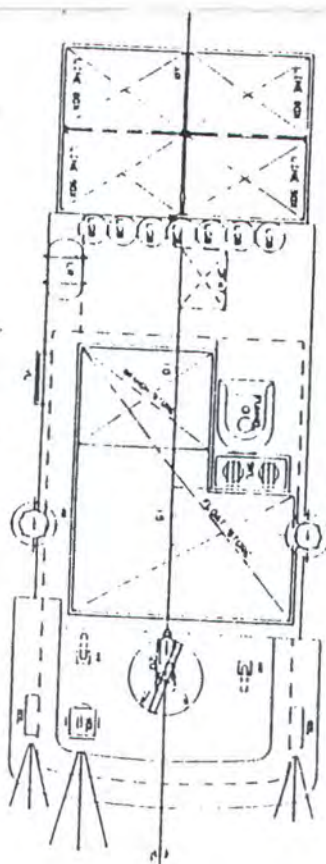
MAIN DECK



HOLD PLAN



TOP DECK



ABBREVIATION

1. - 40.000.000	2. - 40.000.000
3. - 40.000.000	4. - 40.000.000
5. - 40.000.000	6. - 40.000.000
7. - 40.000.000	8. - 40.000.000
9. - 40.000.000	10. - 40.000.000
11. - 40.000.000	12. - 40.000.000
13. - 40.000.000	14. - 40.000.000
15. - 40.000.000	16. - 40.000.000
17. - 40.000.000	18. - 40.000.000
19. - 40.000.000	20. - 40.000.000
21. - 40.000.000	22. - 40.000.000
23. - 40.000.000	24. - 40.000.000
25. - 40.000.000	26. - 40.000.000
27. - 40.000.000	28. - 40.000.000
29. - 40.000.000	30. - 40.000.000
31. - 40.000.000	32. - 40.000.000
33. - 40.000.000	34. - 40.000.000
35. - 40.000.000	36. - 40.000.000
37. - 40.000.000	38. - 40.000.000
39. - 40.000.000	40. - 40.000.000
41. - 40.000.000	42. - 40.000.000
43. - 40.000.000	44. - 40.000.000
45. - 40.000.000	46. - 40.000.000
47. - 40.000.000	48. - 40.000.000
49. - 40.000.000	50. - 40.000.000
51. - 40.000.000	52. - 40.000.000
53. - 40.000.000	54. - 40.000.000
55. - 40.000.000	56. - 40.000.000
57. - 40.000.000	58. - 40.000.000
59. - 40.000.000	60. - 40.000.000
61. - 40.000.000	62. - 40.000.000
63. - 40.000.000	64. - 40.000.000
65. - 40.000.000	66. - 40.000.000
67. - 40.000.000	68. - 40.000.000
69. - 40.000.000	70. - 40.000.000
71. - 40.000.000	72. - 40.000.000
73. - 40.000.000	74. - 40.000.000
75. - 40.000.000	76. - 40.000.000
77. - 40.000.000	78. - 40.000.000
79. - 40.000.000	80. - 40.000.000
81. - 40.000.000	82. - 40.000.000
83. - 40.000.000	84. - 40.000.000
85. - 40.000.000	86. - 40.000.000
87. - 40.000.000	88. - 40.000.000
89. - 40.000.000	90. - 40.000.000
91. - 40.000.000	92. - 40.000.000
93. - 40.000.000	94. - 40.000.000
95. - 40.000.000	96. - 40.000.000
97. - 40.000.000	98. - 40.000.000
99. - 40.000.000	100. - 40.000.000

PRINCIPAL PARTICULAR

L.O.A	48.23.40 M
B	18.45 M
D (MOULDED)	3.20 M
D (DRAUGHT)	2.20 M
COMPLEMENT	1.60 M
MAIN ENGINE	8 D
SERVICE SPEED	18.7.240 HP
	9 KNOTS

60 GT TUNA LONG LINER

GENERAL

ARRANGEMENT



NO. PP



INDONESIA

SKALA : 1 : 200